José Babini

Las revoluciones industriales

46

Biblioteca fundamental del hombre moderno

Las revoluciones Industriales

José Babini

Biblioteca
fundamental
del
hombre
moderno

Centro Editor
de América Latina

© 1972
Centro Editor de América Latina S.A.
Cangallo 1223 - Buenos Aires
Impreso en la Argentina - Printed in Argentina

Homo faber

Alguna vez dijo Einstein que lo más incomprensible del mundo reside en que es comprensible; quizás pueda parafrasearse esta expresión y decir que lo más incomprensible en el hombre es su manipuleo de las cosas de ese mundo, y fabricar con ellas instrumentos, útiles y máquinas. Sin duda, los animales no hablan, pero emiten los más variados sonidos; tampoco reflexionan, aunque muestran un rudimentario discernimiento; sin embargo, no es imaginable en un animal la modificación de su proceso instintivo a fin de introducir mejoras en su cueva o en el arte de cazar su presa.

En cambio, en la aurora de su humanización, el lejano antecesor del actual *Homo sapiens* ya es el *Homo faber*, que inventa el filo cortante, iniciación de la larga y multiforme serie de recursos que implementará para dominar el mundo que lo rodea y adaptarlo a sus necesidades.

Más aún: se ha dicho que es poco probable que el hombre hubiera sobrevivido sin la fabricación de instrumentos que compensaran su reducido tamaño y los escasos y débiles recursos que le ofrecían manos y dientes para su defensa. El hecho es que, mientras otras ramas colaterales perecían, el *Homo faber* sobrevivió y la lenta evolución y correlación de cerebro, ojos, manos y boca

dio lugar a un ser firmemente apoyado sobre el trípode: pensamiento reflexivo, lenguaje y fabricación de instrumentos.

La fabricación de instrumentos, como prolongación de la mano, y la conservación, producción y usos del fuego fueron pues las primeras manifestaciones de una específica actividad humana, la técnica o tecnología, términos de los cuales se dan definiciones diferentes y que, aun aludiendo a la misma actividad humana, no son sinónimos, distinguiéndose, en general, según se acentúe el acto (técnica) o los pensamientos que acompañan o preceden el acto (tecnología).

El saber técnico

Esta adjunción del pensamiento al acto convierte a la técnica, y por supuesto a la tecnología, en una rama del saber con rasgos semejantes a los del saber científico. Como éste, el saber técnico presupone un aprendizaje y un entorno social, pero sobre todo un acto creador, en este caso más invención que descubrimiento, claro signo del carácter humano del "animal creador de símbolos".

Si bien el saber técnico no posee un criterio de verdad en el sentido lógico, está igualmente obligado a satisfacer una exigencia análoga: el criterio de "éxito"; según este criterio el hombre considera válida y permanente toda creación de un ente, del cual el mundo no ofrece copia o modelo que proporcione una solución a las situaciones siempre nuevas que le plantean las cosas de ese mundo. Y a ese peculiar criterio de verdad, o mejor

de verificabilidad, se vincula un método también peculiar: el método que, en la persecución del éxito, sigue la clásica línea del "ensayo y error".

El saber técnico comparte con el científico el carácter de progresivo, aun con mayor permanencia y continuidad. Una teoría científica puede derrotar y eliminar una teoría anterior sobre el mismo tema, mientras que los progresos técnicos dejan subsistentes los resultados anteriores en ese campo. Ningún químico sostiene hoy la teoría aristotélica de los elementos, mientras que seguimos transportando sobre el hombro las cargas que pueden transportarse en camión o avión. Diríase que en el *ring* de la ciencia se triunfa por *knock-out*, mientras que en el de la técnica, por puntos, dejando en pie al rival vencido. Igualmente, el carácter universal del factor utilitario, que acompaña a la técnica, asegura a ésta una continuidad con la cual no siempre contó el saber científico, más expuesto a circunstancias históricas particulares.

En otro sentido, las historia de la ciencia y de la técnica revelan caracteres distintos. En efecto, el pensamiento científico sólo pudo fijarse y trasmitirse en períodos históricos, es decir, cuando existe escritura, que resulta así una condición necesaria, aunque no suficiente, para investigar su desarrollo.

En cambio, la técnica pudo desarrollarse, y en efecto se desarrolló, en períodos prehistóricos cuando resulta suficiente la trasmisión oral y el útil a la vista, circunstancias que no facilitaron la investigación histórica de ese desarrollo.

En efecto, los testimonios que sobreviven de los tiempos prehistóricos, viviendas e instrumentos de piedra u

otro material no perecedero, no revelan sino una parte del bagaje técnico del hombre de esos tiempos, y sólo indirectamente, mediante esos restos, puede conjeturarse algo acerca de la índole de las actividades humanas: caza, pesca, guerra, o de la existencia de útiles de madera, cuero o piel.

Igualmente, y en forma aun más indirecta, puede inferirse algo acerca de lo que puede llamarse técnica no material: organización social, ritos mágicos y religiosos. Quizás las manifestaciones que cabe calificar de artísticas —pinturas rupestres, dibujos y grabados, modelados en relieve o de bulto—, sean las que algo expresan acerca de ritos y creencias, además de proporcionar datos sobre otras técnicas materiales: de la iluminación, de los colores, del trabajo con arcilla, etcétera.

Pero, en cualquier caso, se carece en absoluto de todo indicio que revele el proceso intelectual o la motivación psicológica que condujo las innovaciones técnicas, en las que se han visto los primeros frutos del ingenio de verdaderos tecnólogos, que aplicaron los principios básicos del manejo de la materia y de la energía, ya que en los lejanos tiempos de las tribus de cazadores, pescadores y recolectores de alimentos, el hombre sabía conservar el fuego, fabricar instrumentos compuestos, idear trampas para cazar animales y utilizar en sus armas los principios de la palanca y de la tensión de las cuerdas.

En el caso de la técnica se puede agregar que la carencia de documentación escrita, salvo casos aislados y esporádicos, se mantuvo en los tiempos históricos, ya que en virtud de su propia índole las técnicas y artesanías continuaron trasmitiendo oralmente sus métodos y procedi-

Pintura rupestre paleolítica: bisonte de la cueva de Altamira, España

mientos, y sólo con el advenimiento de la tipografía, en el siglo XV, comenzarán a registrarse por escrito los procesos técnicos.

La técnica y su historia

No obstante tales limitaciones, en los últimos tiempos se ha podido elaborar una historia de la técnica como uno de los tantos capítulos de la historia del saber humano. Claro es que hay en ella puntos oscuros, como los hay en toda disciplina científica, y sin alcanzar el desarrollo de las historias de la matemática, de la medicina o de la filosofía, constituye ya un cuerpo de doctrina estimable, con sus asociaciones y revistas especializadas, buen número de tratados y manuales y, sobre todo, un grupo numeroso de investigadores.

Sin duda no fue tarea fácil lograr ese resultado, que exigió la tarea previa de superar los mitos y leyendas que envolvían a muchos inventos, aunque la dificultad mayor fue compensar la carencia de documentación escrita hasta los tiempos de la imprenta y de las patentes.

Contribuyeron a esa tarea los aportes de distintos sectores científicos, en primer lugar la antropología y en especial la arqueología, cabal historia de la prehistoria, mediante el estudio y análisis de los restos de industria humana, útiles, armas, viviendas, tumbas, etc., que las excavaciones y exploraciones pusieron y ponen en descubierto; sin olvidar las contribuciones de la geología y la paleontología y las de disciplinas más recientes, como la genética y la física nuclear, ciencia que ha proporcionado, con los radioisótopos, un método de fechado de los

restos orgánicos que permite una precisión inimaginable hace medio siglo.

Otra contribución provino de la historia de la ciencia, aunque en el caso especial de la historia de la técnica han resultado de inestimable valor las historias de las letras y de las artes, que han permtiido espigar, en los escritos antiguos y medievales y en los monumentos, relieves, dibujos y tapices, numerosos datos de importancia para el conocimiento del desarrollo de la técnica.

La etnografía es un caso especial: el estudio de los llamados pueblos primitivos actuales establece un paralelismo, hipotético, entre estos pueblos y los prehistóricos y, en consecuencia, cierta analogía entre los respectivos instrumentos; aunque este método comparado no tiene sino un valor conjetural, no ha dejado de sumar datos útiles. Todas estas contribuciones han permitido trazar un cuadro histórico de la técnica; sin duda resulta oscuro y vago para los tiempos prehistóricos más alejados pero, a partir de épocas menos remotas del décimo milenio antes de Cristo, ha adquirido mayor consistencia y verosimilitud.

De este cuadro nos interesa destacar uno de sus aspectos: las revoluciones industriales.

Las revoluciones industriales

Una síntesis del desarrollo histórico de la técnica se refleja en las listas o catálogos de inventos e innovaciones, que se han establecido ordenándolos cronológicamente dentro de la aproximación admisible en cada caso. Como, por lo demás, cada invento o innovación ha tenido im-

portancia y consecuencias diferentes, se puede asignar, y así se ha hecho, un peso a cada uno de ellos, es decir, un número dentro de una escala, por ejemplo entre 1 y 10, que proporciona la medida de esa importancia y consecuencias, también dentro de la aproximación admisible.

Es claro que tales datos permiten apreciar en forma aproximada, pero cuantitativa, el comportamiento del desarrollo técnico a lo largo del tiempo, pues la suma de los pesos correspondientes a lapsos iguales mide una magnitud que no es sino la velocidad media de ese proceso, es decir, la razón entre la suma ponderada de los inventos y el lapso en que se produjeron.

Si, para evitar distorsiones, se toman exclusivamente los datos correspondientes al mismo ámbito cultural, por ejemplo el occidental, y se representa gráficamente la variación de esas velocidades en función del tiempo, se obtendrá una curva ondulada que, dentro de una tendencia general creciente, muestra crestas, valles y planicies. Un análisis más detallado de la curva dará cuenta de esta orografía.

Antes de la aparición de la agricultura, hacia el 6000 a. C., no hay curva puesto que el escaso número de inventos en un lapso extraordinariamente extenso equivale a una velocidad prácticamente nula. A partir del 6000 a. C., la curva asciende hasta llegar a un vértice, hacia el 3500 a. C., época en que nace la escritura; allí la curva desciende para mantenerse aproximadamente en un mismo nivel desde el 2000 a. C. durante un largo período que abarca la antigüedad clásica grecorromana. Hacia fines del primer milenio d. C., cuando aparecen los primeros recetarios técnicos medievales, se inicia un segundo ascenso que alcanza su vértice hacia mediados del siglo XV, cuando

nace la tipografía, para descender hasta fines de ese siglo, y mantenerse más o menos estacionaria e iniciar un tercer ascenso —ahora brusco, casi vertical—, a comienzos del siglo XVIII. Este ascenso se mantiene hasta fines del siglo XVIII, prolongándose en una elevada planicie hasta mediados del siglo XIX, cuando se inicia la era del acero (convertidor Bessemer, 1856) y de la electricidad (primera aplicación de un motor eléctrico en una empresa industrial, 1879). A partir de entonces sigue el ascenso, aunque para nosotros la curva se detiene.

La presencia en la curva de las tres ramas ascendentes: en los tiempos prehistóricos, en la Edad Media y en el siglo XVIII, con sus respectivos picos, no hace sino revelar en forma gráfica y cuantitativa un hecho ya reconocido empíricamente: el incremento relativo de la inventiva técnica en esos tres períodos, a su vez causa y efecto de fenómenos sociales y económicos. Tal incremento significó en cada caso una aceleración del proceso técnico, aceleración que el siglo XVIII se calificó de "revolución industrial"; no hay razón para no aplicar esa denominación a los dos casos anteriores y concluir que, en el desarrollo de la cultura occidental, se produjeron tres revoluciones industriales: la prehistórica (neolítica), la medieval y la industrial por antonomasia.

La revolución neolítica

Basta pensar que la revolución neolítica se inicia con la introducción de las prácticas agrícolas en las actividades humanas, para advertir su importancia.

Sin significar su reemplazo, el cultivo de las plantas puede considerarse un perfeccionamiento de la recolección

de frutos y raíces, que, empero, exigió una serie de nuevas técnicas y nuevos útiles. El hombre prehistórico cultivó cereales, raíces, legumbres y hortalizas, no sólo para su alimentación, sino también para obtener fibras, semillas oleaginosas, colorantes.

Los cereales fueron los primeros cultivos; actualmente, con el auxilio de la genética, se ha podido rastrear el largo desarrollo entre los milenios séptimo y segundo a. C., de las especies salvajes del trigo hasta la especie cultivada del trigo del pan.

La agricultura supuso una serie de operaciones y nuevos métodos —preparación del terreno, siembra y cosecha, trilla y molienda, en el caso de los cereales—, que exigieron nuevos útiles, desde el primitivo palo cavador, la azada y la hoz, que aparecen ya en los primeros tiempos neolíticos, hasta el complicado arado del cuarto milenio antes de Cristo.

Al comienzo de la era neolítica la parte útil del instrumento es de piedra labrada y pulida, pero a fines de la era ya se han mejorado los instrumentos con piezas metálicas.

Aún más difícil que en el caso del cultivo es desentrañar el origen de la domesticación de los animales, otro de los notables procesos de este período que no se repitió en la misma escala. Sin duda, el paso de la caza a la domesticación fue insensible, aunque no es fácil señalar cómo y cuándo se descubrió que era más ventajoso para la obtención de carnes y pieles, el largo proceso de la domesticación frente al rápido procedimiento de la caza. Una hipótesis plausible considera la domesticación como fenómeno de simbiosis, semejante a la asociación fundada en la relación biológica huésped-inquilino, favorecida en este caso

por las condiciones climatológicas de la época posglacial que habría otorgado a las especies animales cierta plasticidad; se aplica así el hecho de que no se repita otra época de domesticaciones, porque no se reiteran esas condiciones del ambiente físico y biológico. También se explicaría que el primer animal doméstico fuera el perro, que por su condición de "basurero" resultó un involuntario acompañante del hombre. Le habrían seguido los porcinos por la misma razón, o los ovinos por su leche y lanas, luego los vacunos y los animales de carga —asnos y caballos—, más tarde las aves de corral, conejos y otros animales, como el gato, cuya domesticación ha de haber obedecido a motivos especiales.

La convivencia de los animales domésticos con el hombre trajo aparejada una serie de innovaciones vinculadas con la vida del animal —pastoreo, alimentación y vivienda—, y con el uso de sus productos —carne, leche, lana, cueros, pieles, huesos, cuernos—, así como nuevos dispositivos como el arnés para el asno y el caballo adecuado a la carga o a la tracción, y el yugo uncido para los bueyes.

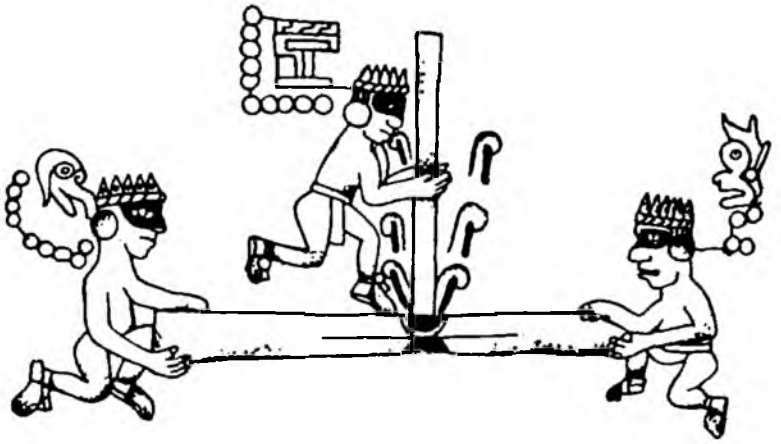
Estos dispositivos ponen de relieve otro fruto de esta revolución industrial: la primera aplicación de la energía animal en sustitución de la energía muscular humana. Por otra parte, la combinación hombre-suelo-animal, representada por los bueyes uncidos al arado, representa uno de los grandes esfuerzos de la imaginación e inteligencia humana: la ya avanzada cultura agrícola-pastoril dotada de un rico instrumental técnico, parte del cual —alfarería, textiles, arte de la madera, metalurgia— no resulta de tareas agrícolas y pastoriles.

Dos hechos llaman la atención respecto del nacimiento de la alfarería a comienzos del neolítico: por un lado su

aparición tardía, ya que la arcilla cocida era conocida en tiempos anteriores, y en segundo lugar, la universalidad del surgimiento en lugares sin intercomunicación posible y, en general, aunque no siempre, al mismo tiempo que las prácticas agrícolas. Se ha querido explicar su vinculación con la agricultura mediante la necesidad de disponer de recipientes de formas y tamaño variados, para la conservación de granos u otros productos; o de recipientes resistentes al calor donde cocer a fuego lento cereales en líquidos; o también en que la fabricación de los vasos, su preparación y cochura exigía una sedentarización sólo posible en los tiempos de la agricultura, sin desconocer que el nomadismo no era muy compatible con el transporte de útiles más bien frágiles. Sea lo que fuere, el hecho es que con la cerámica nació una práctica más perfeccionada en el manejo del fuego: hornos y dispositivos para elevar y mantener el fuego a temperaturas entre niveles fijos, a veces próximo a los 1000° C.

Algo semejante ocurrió con las artes textiles que aparecen a comienzos del neolítico: cestería, hilado y tejido. También en este caso, las nuevas artes se vincularon con la agricultura, ya que al escasear las pieles, que en abundancia había proporcionado la caza, el hombre recurrió a las fibras para confeccionar sus abrigos; usó lino y cáñamo al principio y, más tarde, en el tercer milenio, la lana y algodón. Las artes textiles exigieron nuevos instrumentos: el huso y el telar; aparentemente sencillo el primero, muy complicado el segundo, pero ambos de gran ingeniosidad.

Aunque no han quedado vestigios de instrumentos de madera prehistóricos, es indudable que su empleo fue tan antiguo como el de la piedra; por lo demás, la madera ha desempeñado un papel preponderante en los transportes al proporcionar los primeros barcos y la rueda.



Los aztecas encendían fuego por rotación.
Manuscrito del siglo XVI

De las primitivas canoas, construidas exacavando grandes troncos con auxilio del fuego —ya que es más fácil trabajar madera carbonizada que fresca—, se pasó gradualmente a los barcos con vela del período neolítico, probablemente del cuarto milenio, que revelan la utilización de una nueva fuente de energía utilizada por el hombre: el viento.

En cuanto a la rueda, quizás pueda verse en este notable invento la aplicación de una idea más general: el movimiento de rotación que el hombre imprimió con los primeros instrumentos de piedra y más adelante con útiles especiales tales como cilindros de piedra para agujerear, taladros de arco para perforar, etcétera.

Aunque se desconoce la época en que apareció la rueda, dos de sus aplicaciones importantes son del cuarto milenio: la combinación con las antiguas rastras y trineos para dar lugar al carro con ruedas, y su aplicación al arte cerámico a través del conocido torno de alfarero. Más tarde, en el milenio siguiente, aparece la rueda de cangilones.

La última, cronológicamente, de las grandes innovaciones técnicas del neolítico es la metalurgia. Es posible que la explotación de canteras, que exigía la fabricación de instrumentos de piedra y la búsqueda de piedras preciosas (entre ellas el oro), a las que se confería caracteres mágicos, condujeran al descubrimiento de metales y minerales que, expuestos al fuego, resultaran en productos de cierta plasticidad.

Comienza así el trabajo de los metales hacia el cuarto milenio con el cobre, en estado nativo, continuándose con sus minerales para obtener distintos "bronces", cuya aparición y difusión dio lugar a una llamada "edad del bronce" que antecederá, en un par de milenios, a la "edad del hierro".

Como la metalurgia exige temperaturas más elevadas que las del horno del alfarero, aparece el tiraje forzado con los fuelles; mientras tanto se perfecciona el colado que, del método de moldes vacíos, evoluciona en el tercer milenio al método llamado de "la cera perdida".

Debe aún agregarse, en este último milenio de la primera revolución industrial, la fabricación del vidrio, la invención de la balanza, la aparición del ladrillo, que facilitó la construcción, y la realización de obras de irrigación tanto en Mesopotamia como en Egipto; en esta útlima, por la misma época, se erigen las pirámides.

Enumeradas de esta manera las invenciones e innovaciones técnicas de la primera revolución industrial, pareciera existir cierta falta de conexión entre ellas. Sin embargo no fue así; en la urdimbre de la inventiva humana procesos e inventos se entrelazaron, configurando una especie de estructura cerrada, de mutuo apoyo entre sus partes. Así, la vida sedentaria posibilitada por la agricultura, facilitó la concreción de nuevos inventos, algunos de los cuales favorecieron las tareas agrícolas; el trabajo de la madera permitió la construcción de medios de transporte por tierra y por agua; los minerales, que esos medios transportaron, sirvieron para fundir y forjar piezas metálicas que hicieron más sólidas las construcciones de madera, etcétera.

La revolución urbana

Si a tal estructura de técnicas materiales se agrega el conjunto de técnicas no materiales, implicadas en parte en aquéllas —arte de gobernar, ritos mágicos y religiosos, prácticas comerciales, normas de justicia—, se configura

un nuevo tipo de convivencia, en la cual el hombre imprime su propio sello al mundo que lo rodea, tornándolo más artificial, es decir más humano, y supera la etapa, más natural, del cazador y recolector y aun la del mero productor de alimentos.

Las conquistas técnicas y la organización social aportan en esta nueva etapa una posibilidad también nueva, la disponibilidad de "excedentes económicos", cuya producción y distribución insertaron al hombre en una vida más colectiva y comunal. En efecto, esos excedentes económicos permiten mantener a un numeroso grupo de miembros de la colectividad que consumen alimentos sin producirlos: alfareros, metalúrgicos, magos y hechiceros y, más tarde, jefes y sacerdotes, guerreros y escribas. También a través de esos excedentes económicos se sostiene cierto "comercio exterior", intercambiando, mediante trueque, productos disponibles por otros no disponibles. De este modo cambiarían los pueblos de los valles ganado y semillas por minerales y piedras preciosas de los pueblos de las montañas; asimismo, los excedentes económicos permitirán encarar obras realizables sólo mediante el esfuerzo colectivo: irrigación y drenaje, construcciones monumentales, etcétera.

En definitiva, hacia el cuarto milenio a. C. la revolución neolítica llega a su fin y las comunidades entran en una etapa cultural, caracterizada por la formación de poblados que se aglomeran alrededor de un centro donde se reúnen los talleres, los graneros, el templo, las habitaciones reales; en una palabra, nacen las ciudades donde el vivir humano adopta una nueva forma, la de la cultura urbana.

Fundada sobre castas y sobre la producción y distribución de los excedentes económicos, la cultura urbana se

define por una comunidad de actividad múltiple: al lado de jefes, sacerdotes, guerreros y escribas aparece un mundo de esclavos, campesinos y artesanos que utilizan el instrumental neolítico, cada vez más perfeccionado, en prácticas cada vez más eficientes, aunque envueltas en una atmósfera de ritos y tabúes. Y como subproducto de este nuevo ambiente cultural surge otro invento: la escritura.

Actualmente se atribuye el origen de la escritura a los sumerios de la Baja Mesopotamia, cuyas ciudades en el cuarto milenio a. C. se organizaban alrededor del templo que representaba la unidad espiritual de la comunidad y encerraba su riqueza económica. Esa riqueza, constituida por los bienes acumulados en talleres y graneros, era administrada por los sacerdotes y es explicable que, al aumentar esos bienes con el crecimiento de la población, se tornaba más difícil retener de memoria las "cuentas del templo", es decir, los datos relativos a los tributos que se debían al dios o a la cantidad de semilla y de ganado que se entregaba a los campesinos y pastores; de allí la necesidad de fijar mediante signos convencionales aquellos datos que antes se confiaban a la memoria individual.

Aunque es innegable la influencia del factor económico en su origen, no debe verse en la escritura una mera técnica de información. A las favorables características especiales de la vida sumeria, ha de agregarse la innegable influencia de la peculiar atmósfera de carácter precientífico existente en un ambiente ciudadano que estimuló una actividad como la escritura, en la que el hombre pone en juego en gran medida su potencia simbolizadora. Y el desarrollo posterior de la escritura, al reproducir la totalidad del simbolismo del lenguaje, lo comprueba.

Con la escritura se vinculan los sistemas de numeración y con éstos los sistemas de pesas y medidas, también

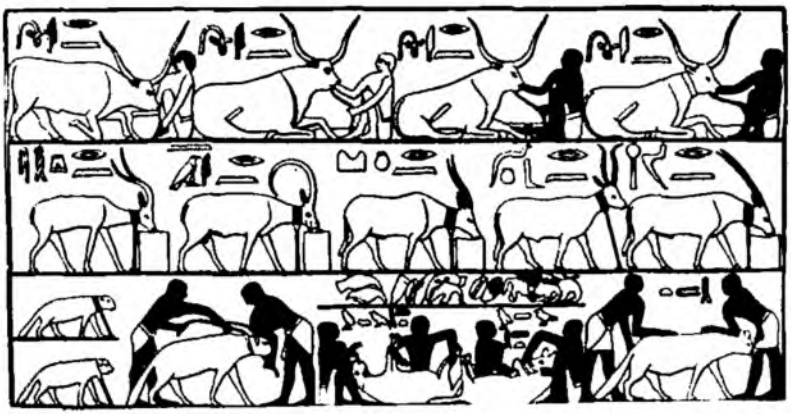
manifestaciones técnicas de evidente carácter precientífico, que se acentúa entre los antiguos sumerios y babilonios quienes introducen hacia el 3000 a. C., un sistema de numeración tan perfecto como el sexagesimal y una práctica de problemas numéricos de naturaleza que hoy calificaríamos como algebraica y cuya solución posibilitó ese sistema.

Se ha atribuido a estas ejercitaciones finalidades de tipo didáctico, considerándolas elementos utilizados en el aprendizaje y formación de escribas y funcionarios, circunstancia que incluiría tales manifestaciones matemáticas dentro de las técnicas pedagógicas, *aunque no debe descartarse*, también en este caso, la influencia de la atmósfera precursora de un saber científico.

Al invento de la escritura debe agregarse los inventos correlativos del material utilizado para escribir; el sistema de los sumerios —más bien rudimentario por carencia de un material más adecuado—, consistía en una rama con una punta afilada en forma de cuña, con la cual se grababan los signos "cuneiformes" en arcilla, que se endurecía más tarde. En el sistema de los egipcios, precursor del actual, el escriba, munido de pluma y tinta, dibujaba o rasgaba sus signos en la hoja de papiro, especie de "papel" elaborado con cierta fibra vegetal.

El período clásico

En el largo lapso de treinta siglos que siguen al período neolítico, la inventiva humana, sin disminuir, mantuvo un ritmo de intensidad algo inferior al experimentado durante la etapa anterior y los primeros tiempos históricos.



Domesticación de animales. Escenas representadas en una tumba egipcia, c. 2500 a. C.

El alfarero egipcio utiliza el torno accionado con los pies. De una tumba del segundo milenio a. C.

Se produjeron, por supuesto, importantes inventos e innovaciones técnicas. Con la llegada a Occidente de los llamados "pueblos indoeuropeos", en el segundo milenio a. C., una importante innovación técnica se introdujo en la metalurgia al iniciarse el trabajo del hierro endurecido, es decir del "acero", que reemplazará con ventaja al bronce y cuya amplia difusión a fines del milenio, convertirá el hierro en el metal "democrático", frente al "aristocrático" bronce.

El hierro contribuyó notablemente al progreso de las artes pacíficas mediante la construcción de hojas de arado, hachas, picos, tijeras, sierras, etcétera, y a las artes bélicas, al sustituir el bronce en el forjado de las armas. Agreguemos de paso que en este período el arte de la guerra experimentó otros avances, ya en las técnicas de combate, ya en los dispositivos de asedio y de ataque, al mecanizarse el arco y la honda.

También con los pueblos indoeuropeos se registra la presencia del "hombre a caballo" en la primera oleada migratoria y, en la segunda oleada, el invento de la moneda —primera mitad del primer milenio a. C.

Gran parte de los inventos de este período son aplicaciones del movimiento de rotación. Además de la polea, aparecida en el primer milenio a. C., puede señalarse la aplicación del movimiento de rotación a la molienda, desde el molino accionado a mano y más tarde por animales, hasta el molino o rueda hidráulica de fines del milenio, sin duda el invento más importante del período.

Puede pensarse que la rueda hidráulica consistió en un perfeccionamiento de la rueda de cangilones; sin embargo, parece que el camino fue otro, pues se habría pasado con ruedas de molino horizontales, accionadas mediante un eje vertical unido a una rueda hidráulica también

horizontal, a molinos accionados mediante un juego de engranajes, por una rueda hidráulica vertical. Sea cual fuere su origen, la rueda hidráulica es la primera manifestación de uso, por parte del hombre, de una fuente de energía no animal: el agua. Su empleo en Grecia, a mediados del siglo I a. C., está registrado en un canto de Antipater de Tesalónica a la diosa Démeter, quien ordena a las ninfas que desciendan sobre la rueda y hagan girar el eje que mueve el molino.

A la rueda hidráulica vertical para molienda se la ha denominado también molino de Vitruvio; quien la describe en su *De architectura*, de fines del siglo I a. C.; este tratado aporta un buen resumen de la maquinaria del mundo grecorromano de la época: incluye el llamado "tornillo de Arquímedes", sin duda anterior al gran siracusano, la bomba para elevar agua, el órgano hidráulico y las máquinas de guerra. Agreguemos que los romanos emplearon en sus construcciones grúas accionadas por ruedas con pedales movidos por hombres desde dentro de la máquina, sin olvidar que en todo el período grecorromano se realizaron progresos técnicos en distintas áreas: explotación de nuevos minerales, construcción de puertos, caminos y acueductos, erección de obras monumentales como el Faro de Alejandría y el Coloso de Rodas, etcétera.

Técnica y ciencia

En el intercambio entre las dos primeras revoluciones industriales, nace en el mundo griego de mediados del primer milenio a. C., la ciencia como un saber crítico, objetivo, abstracto, consciente de su propia misión y del sen-

tido de responsabilidad que le impone la exigencia de verificabalidad; y con la ciencia aparece su inseparable acompañante, el científico o filósofo, forma de vida desconocida hasta entonces.

Se inicia así la coexistencia de dos formas del saber: el saber científico que, obediente a exigencias de orden intelectual, se propone intencionadamente inquirir acerca del ser de las cosas; y el saber técnico, más urgido por exigencias vitales, que busca en las cosas mismas y con las cosas mismas, los medios para construir un mundo mejor adaptado a esas exigencias.

La distinción, bastante neta, entre sus objetivos puede justificar un divorcio, igualmente definido, entre ambas formas del saber y una incomunicación entre quienes las ejercen. Sin embargo, cabe preguntarse si tal incomunicación es explicable en ambas direcciones: quizás lo sea de parte del técnico, en vista de la clara delimitación de los fines que se propone. En efecto, para el técnico su finalidad es tan apremiante e inmediata que al satisfacerla cree que ha cumplido acabadamente con su función; su misión se presenta tan precisa y obsesionante e ilumina de tal modo su visión intelectual que todo fin ulterior, de índole social o metafísica, queda en la penumbra, como olvidado u oscurecido.

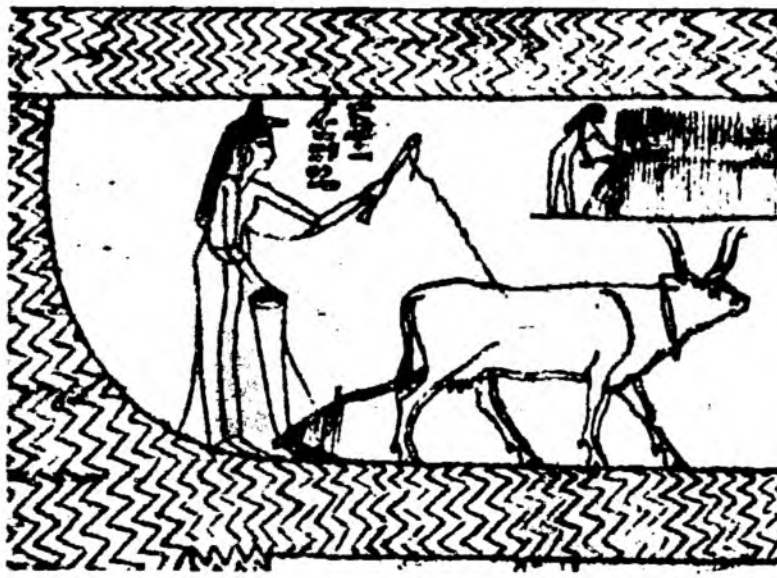
Este oscurecimiento de los fines ante la fuerza de atracción de los medios, fenómeno hoy en discusión pero sin duda también patente en la antigüedad, explica la incomunicación del técnico de los tiempos clásicos, y aún después, con la tarea del filósofo o del científico.

Mas, en principio, no debería ocurrir lo mismo al plantearse la cuestión desde el punto de vista del filósofo o del científico; si éstos se proponen inquirir el ser de las cosas naturales y humanas, la actividad técnica y sus fi-

nes están por tanto entre los objetos que merecen su atención e inquisición. Sin embargo, los filósofos y científicos de las brillantes épocas de Atenas (siglos V y VI) y de Alejandría (siglo III), no prestaron atención alguna a las actividades técnicas que les proporcionaban bienestar y hasta lujo.

Sin duda esas actividades no podían suscitar interés teórico pues no prestaban ayuda alguna a sus especulaciones e investigaciones intelectuales. Por otra parte, en la sociedad en la cual vivían, las actividades manuales —*ganadería, minería y muchas artesanías*— eran ejercidas por los esclavos, seres considerados distintos por naturaleza de los hombres libres y para quienes la esclavitud y sus tareas inherentes les eran adecuadas y convenientes. Es claro, entonces, que los hombres libres, que veían en esas actividades manuales impedimentos para disponer del ocio indispensable para el ejercicio de funciones políticas, militares o intelectuales, llegaran sino a despreciarlas —al fin y al cabo vivían de ellas—, a desestimarlas lo suficiente como para no interesarse en ellas.

Sin que ello signifique tender un puente entre la ciencia y la técnica cabe señalar que en los últimos siglos helenísticos y en los tiempos romanos, algunos escritores *pusieron de manifiesto su interés por la técnica* describiendo construcciones y maquinarias en uso, o imaginando dispositivos en los que se ponía más en juego la inventiva que la invención útil. Mencionemos los llamados "mecánicos alejandrinos" que en sus escritos describen dispositivos mecánicos, máquinas bélicas y, en especial, aplicaciones de la mecánica de los fluidos; algunos de estos inventos son muy simples y sin duda realizados o realizables, como el odómetro o contador de vueltas aplicado a la rueda de los carros; otros más complicados y probable-



Prácticas agrícolas egipcias. De un papiro c. 1000 a. C.

El trabajo del alfarero egipcio: utilización del torno accionado con las manos. Escena representada en una tumba egipcia del segundo milenio a. C.

mente irrealizables en vista del absoluto desconocimiento de la resistencia de materiales y del frotamiento. Otros son ingeniosos, como por ejemplo, una especie de turbina a reacción constituida por una esfera hueca, con salidas laterales, que puede girar alrededor de un eje; al penetrar vapor en la esfera y escapar por las salidas laterales la esfera gira; pero allí termina el dispositivo, que funciona una polea loca que no transmite su movimiento. Ocurre que, en general, esos dispositivos tienden a "alegrar el ojo y el oído" como expresa Vitruvio, mediante autómatas o mecanismos destinados a asombrar o divertir al público.

Entre los romanos, en cambio, al compás de nuevas condiciones sociales y económicas, el interés se dirige a la descripción o bien de obras públicas o privadas, como es el caso del litro de Vitruvio; de acueductos, como lo hace a fines del siglo I un encargado de esas construcciones; de las artes y máquinas bélicas que detalla un ingeniero militar que vivió entre los siglos IV y V.

En otro campo, puede advertirse en este período la intervención de una rama de la técnica en el nacimiento de un sector científico o mejor seudocientífico: es el conjunto de preparaciones y manipulaciones que se definió como alquimia: que hace su aparición en Occidente hacia el siglo III a. C. mezcla de prácticas químicas y de especulaciones filosóficas y religiosas de fondo místico.

La revolución medieval

El largo período de relativo estancamiento en el ritmo de crecimiento de inventos e innovaciones técnicas llega a su fin hacia el año 1000, cuando se inicia en Occidente la llamada alta edad media.

Entre los distintos factores que pueden haber influido en la modificación de ese ritmo, fue sin duda fundamental el cambio de estructura económica provocado por el derrumbe del imperio romano y la invasión de los bárbaros, con el establecimiento de sus reinos.

A una estructura económica, fundada sobre una autoridad central y el trabajo de los esclavos, siguió un sistema de unidades autosuficientes con una mayor consideración hacia el artesano y donde a la relación amo-esclavo siguió la menos inhumana relación siervo-señor. La Iglesia contribuyó a la gradual eliminación de la esclavitud al condenar, en nombre de la religión cristiana, una situación en la que el hombre, creado a semejanza de Dios, era considerado un objeto de propiedad en perpetuidad, asimilado al ganado.

La nueva estructura económica, unida a las exigencias que planteó el crecimiento demográfico, condujo a una escasez de fuentes de energía, en gran parte provista antes por los esclavos; de allí la necesidad de acudir a medios técnicos que proporcionaran energía no humana. En este sentido se han señalado también factores geográficos; al caer los límites fortificados dentro de los cuales el mundo romano había encerrado su territorio, éste se extendió a regiones de condiciones geográficas favorables para la obtención de fuentes de energía: ríos caudalosos, bosques abundantes, minas ricas, animales fornidos, buenos pastos.

Por otra parte, la penetración de los bárbaros y las invasiones ocasionales o más o menos permanentes de pueblos orientales en el mundo occidental, aportaron nuevas técnicas y nuevos procesos que enriquecieron automáticamente el acervo técnico.

La Iglesia, por su parte, ocasionó la aparición de algunas nuevas técnicas y artesanías, ya para decorar sus

catedrales, ya para dar magnificencia a sus actos litúrgicos. Podemos fijar, aunque convencionalmente, en el siglo X, con la aparición de un recetario técnico, el comienzo de la segunda revolución industrial. Se trata del *Ensayos sobre artes diversas* de un monje llamado Teófilo, verdadera enciclopedia de artes y oficios dedicada a constructores y decoradores de iglesias; trata de órganos y de cálices, de iluminación de misales, de encuadernaciones en oro, de vidrios estañados, de trabajos en marfil, de orfebrería, de construcción y fundición de campanas, agregando datos acerca de las materias primas, de los métodos de fabricación, etcétera.

No fue éste el único recetario de este tipo, pues se conocen otros, contemporáneos y aun anteriores, destinados al trabajo del vidrio, de los mosaicos y sobre todo de los metales: aleaciones, soldaduras, confección de láminas delgadas, etcétera.

Con la aparición de estos recetarios comienza el ascenso en el ritmo de crecimiento de los inventos e innovaciones técnicas de la segunda revolución industrial, ritmo que culmina hacia la época de la invención de la imprenta con tipos móviles, es decir de la tipografía, para descender levemente hacia fines del siglo XV y mantenerse estacionario un par de siglos.

El arnés del caballo

Cronológicamente una de las primeras innovaciones técnicas, de la revolución medieval es la modificación que experimenta el arnés del caballo, comparada, quizás algo exageradamente, con la introducción de la máquina de va-

por. La modificación del arnés y atalaje del caballo supuso distintos elementos, de los cuales los más importantes fueron la collera, las herraduras y el equipamiento en tándem.

Los antiguos, desconociendo la diferente anatomía de bovinos y equinos, enjaezaban al caballo de tiro con una especie de yugo consistente en una banda que pasaba alrededor del cuello del animal. Esa banda tendía a ahogarlo cuando pretendía tirar, obligándolo a echar la cabeza hacia atrás y disminuyendo así en gran medida su eficiencia.

Pero hacia el siglo X no sólo se sustituye en los vehículos el eje central, proveniente del antiguo yugo, por las varas laterales, sino que se modifica el arnés introduciendo la collera, probable influencia de los pueblos jinetes de las estepas, que al presionar sobre las clavículas permite al animal ejercer un mayor esfuerzo de tracción, triple o cuádruple del que ejercía con el arnés antiguo, desarrollando así una energía equivalente a la de diez esclavos.

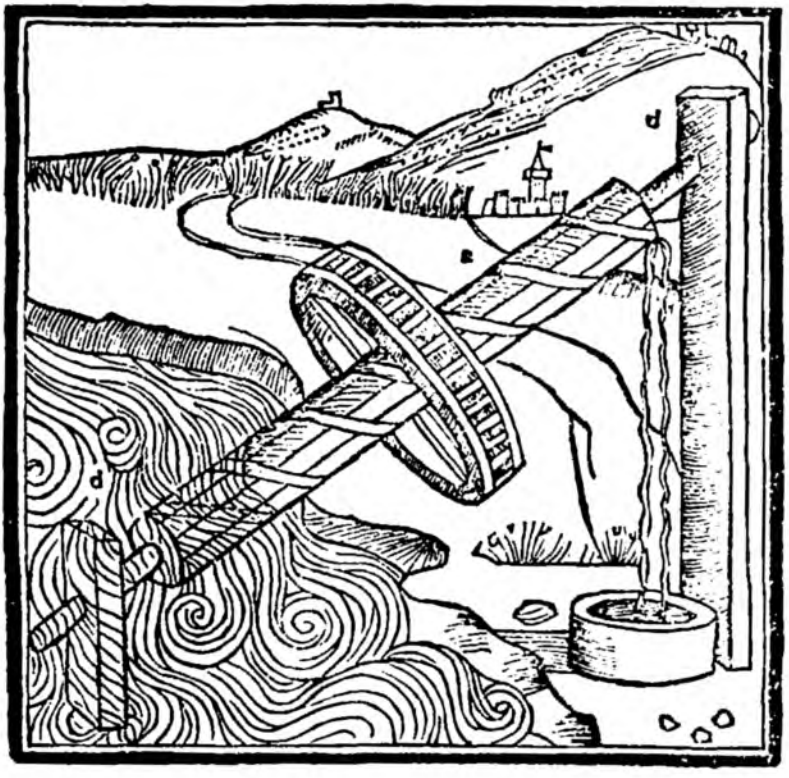
La eficiencia del animal aumentó aún más con el uso de las herraduras, que aparecen también hacia el siglo X, sustituyendo antiguas sandalias que se gastaban fácilmente. Las herraduras no sólo protegieron el casco sino que permitieron la marcha por terrenos duros o resbaladizos y aseguraron el contacto con el suelo. Por último, con el equipo en tándem, de aparición algo posterior, la fuerza de tracción.

También surgen innovaciones en el arnés del caballo de montar; al antiguo manto sucede la silla, aparecen las espuelas, el freno de boca y sobre todo los estribos, a cuya introducción se ha asignado importancia no sólo por haber permitido el empleo de lanzas más pesadas, mayor

libertad de acción y seguridad en el jinete, sino porque tales ventajas configuraron un factor psicológico vinculado con el sentido de superioridad que, mediante esa libertad y esa seguridad, parece ejercer el jinete. Por otra parte, se ha atribuido a la introducción de los estribos una influencia decisiva en la guerra de caballería.

Agricultura y minería

Así como en la primera revolución industrial, también en la segunda la agricultura fue la primera beneficiaria. Al extenderse hacia el norte el centro de gravedad de las zonas cultivadas y combinarse las técnicas agrícolas de los romanos y de los bárbaros, se produce hacia el siglo X y hasta su culminación en el siglo XIII una rápida mejora en esas técnicas. Esas mejoras incluyen perfeccionamientos en los útiles y métodos de labranza: aparece el arado pesado con ruedas, para tierras duras; el mayal articulado para la trilla; mayor abundancia de piezas de hierro en los útiles; sustitución del buey por el caballo, etcétera; se modifica el sistema de cultivo mediante el sistema de los tres campos (dos con cultivos diferentes y el tercero en barbecho), que sustituye el anterior sistema de dos campos (uno en barbecho); aunque más tarde se volvió al sistema de dos campos cultivados cuando la intensificación del abono animal lo permitió; se mejoraron los métodos de drenaje, que permiten secar pantanos y ganar tierras al mar; se construyeron canales de riego para tierras antes estériles; se introdujeron y difundieron nuevos cultivos: la avena, el centeno y la cebada de los bárbaros, el arroz y los cítricos de los árabes.



Tornillo de Arquimides. De una edición de *De la arquitectura* de Vitruvio de 1511

En este sentido merece una mención especial la orden de los monjes cistercienses que en el siglo XII impulsó el progreso técnico en todos los campos —construcciones, metalurgia, obras de irrigación, mejoras en las prácticas agrícolas y ganaderas—, contribuyendo a su difusión por toda Europa.

La abundancia de la cosecha, la caza y, sobre todo, el aumento de los productos de la pesca contribuyeron a una mejor alimentación del pueblo medieval; pero sin llegar a los límites de la subalimentación, sufría la carencia de proteínas de su dieta casi exclusivamente vegetal.

En la industria de los alimentos se introducen mejoras; aparece la manteca, por lo menos en la mesa de los ricos, mejoran los procesos de conservación de alimentos ahumados o salados, se perfeccionan las prensas de vino y aceite; la cerveza, bebida usual entre los bárbaros, vuelve a aparecer en el Mediterráneo donde había sido sustituida por el vino. Ambas bebidas se transportan ahora en toneles, otro invento de los bárbaros, mientras el aceite, sobre todo en Italia, sigue transportándose en ánforas de barro cocido. También avanzó la apicultura, por cuanto la miel siguió siendo el producto por excelencia para endulzar, aunque ya hacia fines del siglo X se importaba azúcar de caña cultivada y elaborada por los árabes, ya que su cultivo no era posible en Europa occidental.

Los progresos técnicos en el campo de la agricultura fueron difundidos mediante textos, ya de los árabes que se ocuparon de campos experimentales y de jardines botánicos y aportaron el conocimiento de los métodos orientales, ya del mundo latino donde a comienzos del siglo XIV aparece el texto de un boloñés que resume los conocimientos de la época en todo lo relativo a las tareas del campo.

Por último citemos una nueva técnica practicada en Europa después de las Cruzadas y cuyo origen reside en la caza como deporte de los ricos: es la cetrería o cacería *con aves, importada* de Persia, que mereció algunos tratados especiales.

En lo referente al trabajo del subsuelo y de las canteras de piedras no se registraron mayores progresos. Vinculada con el trabajo de las minas, se construyen pozos para recoger agua salada a fin de extraer su sal, proceso que se conoce a partir del siglo XII.

También medievales son, en Europa, los pozos llamados artesianos; su denominación proviene de que los primeros que se mencionan a comienzos del siglo XII fueran abiertos en la región de Artois, al noreste de Francia; su conocimiento y proceso de extracción son, sin embargo, probablemente de origen chino y llegan a Europa por transmisión árabe.

Las fuentes de energía

La Edad Media no creó ninguna nueva fuente de energía. La energía mecánica siguió siendo proporcionada por las máquinas simples, aunque sus perfeccionamientos y combinaciones permitieron obtener esfuerzos cada vez mayores, sin sobrepasar ciertos límites impuestos por el material con que se construían los aparatos, la madera. Como combinaciones novedosas pueden citarse la aplicación del tornillo a una especie de gato que en el siglo XIII se utilizó para levantar fardos pesados; el torno a pértiga del siglo XIV, y la combinación más importante: el par biela-manivela de comienzos del XV, que permite transformar el movimiento de rotación en rectilíneo.

También el perfeccionamiento de las ruedas hidráulicas fue importante. La posibilidad de disponer de corrientes más caudalosas y rápidas, la construcción de ruedas de admisión superior —donde el agua, conducida por canales y acueductos artificiales caía en la parte media de la rueda agregando a su efecto dinámico el del propio peso—, y el agregado de sólidos juegos de engranajes, convirtió la antigua rueda de molino en un verdadero motor que llegó a tener una potencia de varias decenas de caballos-vapor y permitió no sólo moler y triturar, sino aplicarse al bataneo y prensado de los paños, a aserrar madera y a accionar bombas y fuelles, martillos y martinetes.

Un tipo especial de ruedas hidráulicas se difundió en algunas ciudades medievales: las ruedas flotantes, instaladas en barcazas, en medio del río, en las que la incomodidad de la ubicación era compensada por la independencia del nivel variable del agua.

Aunque la energía del viento se había utilizado en tiempos prehistóricos en la navegación a vela, los molinos de viento son sin duda medievales, aunque no de origen europeo sino asiático, pues hay pruebas de su existencia en Persia en el siglo XI, sino antes. Penetraron en Europa o a través de la España árabe, o de Rusia y el Báltico; el hecho es que su presencia se registra en Normandía a fines del siglo XII.

Como existe una diferencia esencial entre los molinos asiáticos y los europeos —los primeros tienen eje vertical y velas, mientras los segundos eje horizontal y aspas—, puede también pensarse en un préstamo por uno de los tantos conductos de la época entre Oriente y Occidente, y hasta en el fenómeno de analogía con la rueda hidráulica.

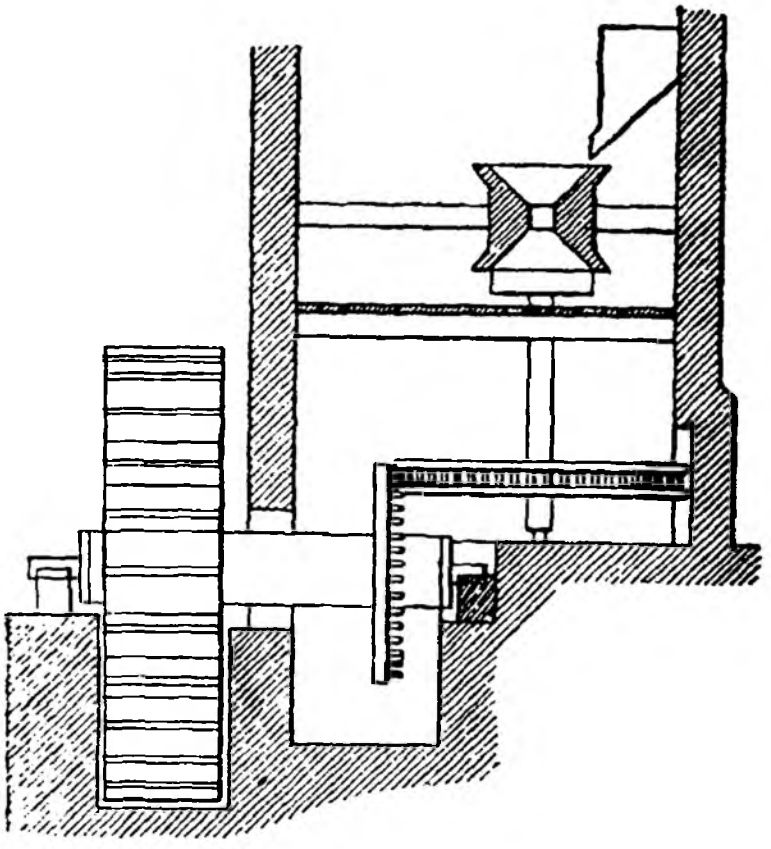
Cualquiera sea su origen, los molinos de viento pasaron de Francia a Inglaterra y los Países Bajos, difundiéndose en especial en los lugares donde era necesario el drenaje y no podían instalarse ruedas hidráulicas. Al comienzo, los molinos eran de estructura fija, pero pronto se los dotó de un sistema de pivotaje que permitía exponer la torre con las aspas en la dirección favorable al viento, convirtiéndose en un dispositivo que cumplía igual fin que las ruedas hidráulicas.

El aporte de energía que en medida creciente brindaban tan generosamente los recursos naturales, fue modificando paulatinamente la concepción que el hombre tenía de la naturaleza, franqueando la barreras animistas y contemplando con ojos más humanos un mundo, otrora morada de dioses y seres fantásticos y cuya utilización para fines prácticos era considerada sacrílega. Fruto de esa paulatina modificación será una nueva visión de la naturaleza que habrá de desempeñar un papel importante en el advenimiento de la ciencia experimental del siglo XVII.

Transportes y comunicaciones

Si se exceptúan las mejoras introducidas con la modificación del arnés del caballo, los transportes y comunicaciones terrestres no experimentaron mayores cambios durante los tiempos medievales; sólo cabe mencionar la aparición, hacia el siglo XIII, de un nuevo vehículo, la carretilla, útil en los usos locales y en los pasos estrechos.

En cambio, el tráfico fluvial y marítimo experimentó, a partir del siglo XII, tales perfeccionamientos que en pocos siglos la navegación logró mayores progresos que en



El molino de agua con engranajes; esquema según Vitruvio

los cuatro milenios anteriores, pasando de costera a oceánica.

Mientras el tráfico fluvial mejora con la provisión de esclusas a los canales hacia el siglo XIII, la navegación progresa con la construcción de puertos y faros y con la dotación de mejores barcos y recursos náuticos.

A partir de los tipos romano y vikingo, los barcos aumentan en tamaño y solidez, así como aumenta el número de mástiles. La vela latina, cuya primera ilustración es una miniatura griega del siglo IX, hacia el siglo XII se ha extendido por todo el Mediterráneo e inicia su difusión por el norte, mientras que hacia esta época aparece el timón moderno, que sustituye al antiguo timón lateral. El mejor empleo del velamen, así como la posibilidad que ofrece el nuevo timón de navegar en contra del viento, hicieron cada vez menos necesario, disminuyendo así otra causa de esclavitud. Dos innovaciones más de este período, indispensables para la navegación de altura, fueron la brújula y las cartas náuticas.

No es fácil precisar la época y el lugar de la invención de la brújula, es decir cuándo y dónde se utilizó en la navegación la aguja magnética combinada con una "rosa de los vientos" u otro dispositivo que permitiera medir su desviación respecto de una dirección fija. Aunque se sabe que los chinos conocían desde antiguo la posibilidad de orientarse mediante cuerpos magnetizados, la aplicación de la aguja magnética a la navegación parece ser un invento occidental, probablemente mediterráneo, del siglo XII.

Algo posterior, y probablemente de igual origen, son las cartas marinas medievales, entre las cuales sobresalen los "portolani", que sin indicación de longitud o latitud (aunque esta última era fácil de detectar con los ins-

trumentos de la época), incluían "líneas de rumbo" que al radiar de cierto número de puntos brindaban la posibilidad de fijar la posición del barco.

Los progresos en la navegación constituyen sin duda uno de los logros más notables de la revolución medieval; no sólo contribuyeron al desarrollo del comercio, tanto local como con el extranjero, sino que hicieron posible la era de los grandes descubrimientos geográficos del Renacimiento.

Industrias textil y metalúrgica

La disponibilidad de una mayor energía dio lugar a que se iniciara la mecanización de las industrias textil y metalúrgica. Antes de tal mecanización, la elaboración de los paños incluía varias operaciones manuales realizadas por artesanos pertenecientes a gremios distintos: cardado y peinado de la lana, hilado con el huso, tejido con el telar accionado a mano o con el pie, bataneo, es decir batir el paño metido en agua con las manos o con los pies, y las diversas operaciones del apresto final.

En la edad media se inicia la mecanización de dos de esas operaciones, el bataneo, que en el siglo XII se realiza mediante martillos accionados por ruedas hidráulicas; y el hilado, tarea a la que se incorpora la rueda de hilar a mano, con la cual el hilandero torcía con una mano la fibra y con la otra accionaba la rueda. Este invento es del siglo XIII y se perfecciona en el siglo XVI, al ser accionada la rueda mediante un pedal, aplicando el mecanismo biela-manivela.

También a mediados del siglo XII se introduce en Europa el trabajo de la seda, una nueva fibra que penetra

desde el Extremo oriente vía Bizancio, con los correlativos cultivos de la morera y del gusano de seda.

En los primeros tiempos medievales la explotación minera sufrió cierto estancamiento provocado por las invasiones bárbaras, pero a partir del siglo XII la demanda cada vez mayor de metales exigió una intensificación en el trabajo de las minas, mejoras en la construcción de pozos y en las prácticas de bombeo, de ventilación y de transporte. Además de la explotación del hierro en distintas regiones, del plomo y cobre, en especial en Italia —donde algunas minas quedaron abandonadas desde la muerte negra del siglo XIV—, y de la hulla, que se supone era conocida en Inglaterra desde el siglo IX, hacia el siglo XIV se explotaban sulfatos en Hungría, salitre en Polonia, mercurio en España y, algo más tarde, alumbre en Toscana y en los Estados papales.

Por otra parte, la aplicación de la energía hidráulica posibilitó un mejor tratamiento de los metales y minerales, ya en la trituración y molienda, ya en un forjado más cómodo mediante martillos accionados mecánicamente; mientras que se logró, por medio de los fuelles, una mayor temperatura en los hornos, progreso que, unido a otros perfeccionamientos en los hornos mismos, dio lugar hacia el siglo XV a uno de los inventos más importantes del período: el hierro fundido.

Del trabajo de los metales de los últimos siglos medievales cabe mencionar una máquina para trefilar alambre del siglo XIV, y un primitivo tren de laminación del XV; además de las aplicaciones a la relojería y a la artillería.

Si bien es posible que desde el siglo XIII se conocieran relojes mecánicos con engranajes y con pesos como mecanismo motor, pero sin escape, es de mediados

del XIV la primera descripción de un reloj mecánico con mecanismo de escape para regular la caída del peso.

Aunque de escasa precisión, estos relojes mecánicos medievales —que hacia fines del siglo XV ostentaban públicamente muchas ciudades—, representan el primer estado de un mecanismo que se ha considerado, mejor que la máquina de vapor, "la máquina clave de la época industrial moderna".

En cuanto a la artillería, la primera representación figurada y la primera mención en un texto de un "cañón de metal", son de la primera mitad del siglo XIV, aunque no será hasta fines del XV cuando las nuevas y perfeccionadas armas de fuego transformarán el arte de la guerra

La tecnología química

En este campo los tiempos medievales aportaron nuevos procesos y mejoras en otros antiguos procesos, todos importantes.

La escasez de metal para la fabricación de objetos caseros incrementó la producción de vidrio común, además de vidrios para ventanas y vidrios coloreados y estañados para las catedrales. En el siglo XIII aparecen los espejos de vidrio y plomo, mientras que el arte del soplado, que se había iniciado en Siria en el siglo I a. C., adquirirá un elevado nivel artístico, en especial en el famoso centro italiano de Murano, cerca de Venecia.

Con el arte del vidriero y del cristalero se vincula un invento de contornos curiosos, el de los anteojos para leer, cuya primera mención conocida es italiana y de fines

del siglo XIII; se afirma que su nombre de "lentes" proviene de la palabra italiana que designa las arvejas: su forma biconvexa tendería a confirmar este origen. El uso de estas lentes contribuyó a solucionar algunos problemas de la visión defectuosa y en cierto sentido, a favorecer el esfuerzo intelectual, ya que por esta época mejoran también los medios de iluminación, con la introducción de las velas de sebo y las despabiladeras.

No obstante su utilidad, y en esto reside la nota curiosa del invento, los lentes no merecieron atención alguna por parte de los científicos que en el Renacimiento se ocuparon de óptica, y sólo cuando Galileo los aplica en los tubos destinados a acercar objetos lejanos se convierten en instrumentos dignos de investigación científica.

Poco se sabe del desarrollo de la industria medieval de la cerámica y del ladrillo, que los cistercienses fabricaban de grandes dimensiones y con agujeros. En cambio, se registran progresos en el arte de la destilación cuando se mejora el alambique de los antiguos alejandrinos mediante el agregado de un refrigerador a serpentín que permite, en el siglo XII, obtener en Salerno (Italia) un alcohol de 60° (agua ardiente) y, más tarde, de 90° (agua vital). También se obtienen los ácidos fuertes: nítrico, sulfúrico y, en el siglo XV, el clorhídrico; la destilación de esencia de rosa dará nacimiento a una importante industria de perfumes.

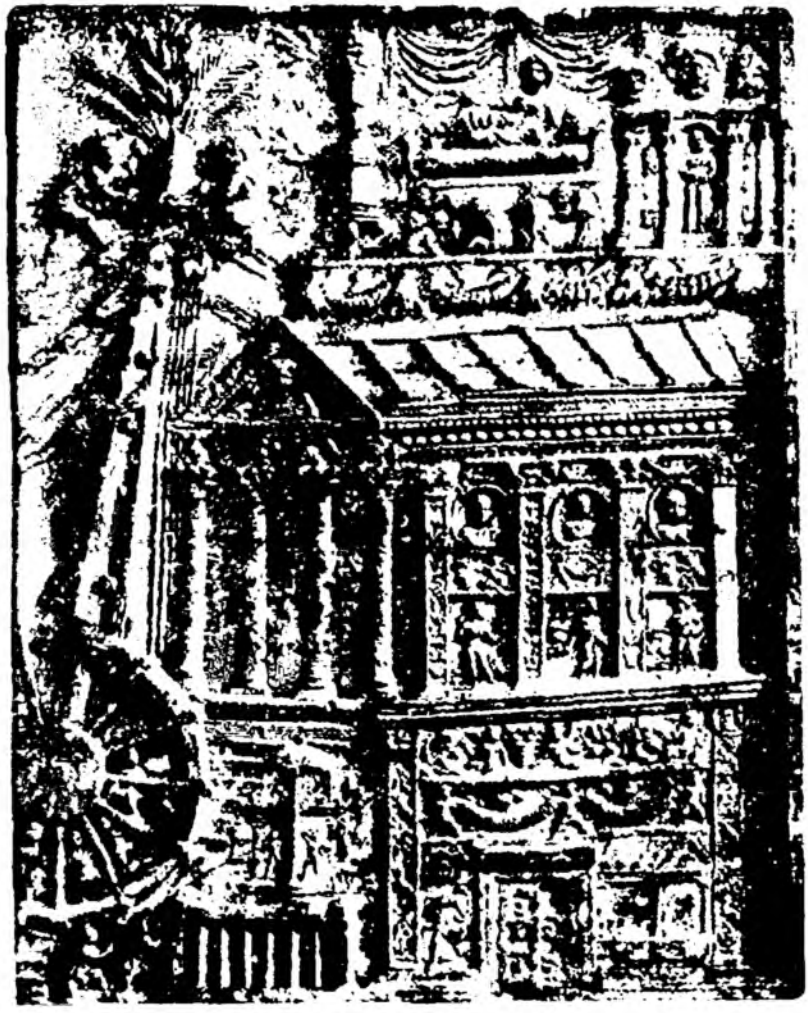
Mientras que la industria del jabón supera la etapa doméstica y aparecen nuevos pigmentos minerales y vegetales y nuevas técnicas en el arte del pintor, en la segunda mitad del siglo XIII se inventa en Occidente la pólvora, tercero de los inventos, con la brújula y la imprenta, considerados fundamentales en el cambio que experimentará el mundo occidental en los tiempos renacentistas

No deja de ser curioso que esos tres inventos se conocieran en China antes que en Europa, de ahí las discusiones acerca de la independencia o no del invento occidental. Lo que puede asegurarse es que en China esos inventos no tuvieron la influencia decisiva que mostraron en Occidente.

Las catedrales medievales

Parece inútil destacar la considerable originalidad de la arquitectura medieval. Los arquitectos y maestros de obra tenían ante sus ojos los ejemplos romanos y árabes que los indujeron a continuar en la senda de una arquitectura funcional y adaptar, dentro de la propia atmósfera cultural, sus construcciones a los fines a los que estaban destinados. Tal tendencia puede comprobarse en las viviendas urbanas y rurales, en los hospitales, monasterios, construcciones militares y, sobre todo, en las catedrales, típicas muestras de la arquitectura medieval.

Esas construcciones, ya del estilo románico (fines del siglo XI y primera mitad del XII) o del gótico (siglos XII y XIII), nombre que en sentido peyorativo se empleará en el siglo XVI, sin duda fueron, en gran medida, el resultado de esfurzos anónimos de artesanos iletrados, aunque no ha de descartarse la intervención técnica de "mecánica teóricos" y "arquitectos científicos" que comienzan a aparecer en esos tiempos. En oposición al templo pagano, en el que sólo penetraban los oficientes y dignatarios del culto, los templos cristianos debían cobijar el mayor número posible de fieles; por otra parte, la luminosidad que debía penetrar desde lo alto exigía grandes ventanales y



Grúa romana accionada mediante energía humana

con ellos elevados y delgados muros que, sin embargo, debían sostener el techo de la catedral; de allí la solución mediante ojivas, bóvedas y arbotantes característicos de la catedral gótica. Algunas de esas innovaciones son de origen árabe, pero los cristianos las perfeccionaron logrando crear un estilo arquitectónico propio.

La novedad de esos problemas técnicos, para los aún inexpertos constructores, explica que en la erección de las catedrales privaran reglas empíricas y el método de prueba y error puestos de manifiesto en la lentitud de las obras y en los fracasos, derrumbes y catástrofes que registran las crónicas.

En buena medida las catedrales que hoy se admiran son fruto de la concepción genial de sus creadores, pero también de la habilidad de los restauradores que corrigieron los errores de sus primitivos constructores.

La imprenta con tipos móviles

Puede decirse que la segunda revolución industrial culmina con el invento de la tipografía, es decir de la impresión con tipos móviles que en Occidente nace a mediados del siglo XV.

Sus antecedentes en Occidente son relativamente recientes; pueden vincularse con la impresión con bloques de madera que ya en el siglo XII empleaban los escribas al grabar en sus manuscritos las bien dibujadas mayúsculas iniciales, generalmente acompañadas con viñetas o figuras. Más tarde la impresión con bloques de madera se extendió a las estampas religiosas, naipes y hasta libros

compuestos por hojas impresas de un solo lado y con sus partes sin imprimir pegadas, y aunque hacia fines del siglo XIV o comienzos del XV se utilizaron láminas de cobre en lugar de los bloques de madera, tal proceso cedió ante el casi contemporáneo método de los tipos móviles, más cómodo y eficaz.

La idea de los tipos móviles pudo proceder de Oriente, aunque parece muy posible su invento independiente, sobre todo si se piensa que la idea estaba en germen en los sellos con iniciales que forjadores u orfebres estampaban en sus obras, o en el procedimiento de utilizar tipos sueltos para la numeración impresa con el mismo bloque en los naipes, sin olvidar la presión que estaba ejerciendo un ambiente de hombres de negocios, escuelas, universidades y la Iglesia, que urgía una producción creciente de libros.

Si la idea de la tipografía, por sus antecedentes y relativa sencillez estaba en el aire, su realización práctica no dejó de ofrecer serias dificultades por la complicación que significaba la coordinación de los distintos factores que intervenían en el proceso: confección y material de los tipos, composición de la tinta, clase de papel, mecanismo de la impresión, habilidad artesanal, que diera por resultado un producto que pudiera competir, en precio y presentación, con los manuscritos y convertir la empresa en una industria lucrativa.

Si bien es poco conocido el origen de la tipografía y no cabe descartar la existencia de precursores —o algo más que eso— franceses y holandeses, es indudable que el proceso final está vinculado con el taller instalado por Gutenberg y dos socios en la ciudad de Mainz a mediados del siglo XV. La versión tradicional que atribuye a Gutenberg el mayor mérito de la invención ha de tener muchos

visos de verdad, aunque dada la índole de la empresa tal mérito cabría asignarlo al taller, que en dos aspectos —confección de los tipos y composición de la tinta— introdujo notas originales, mientras que en los demás aspectos —impresión, papel, prensa— no hizo sino adaptar inventos anteriores.

No por conocido dejó el papel de ser un factor decisivo en la invención de la imprenta, por cuanto en la confección de manuscritos el mayor costo incidía en el pergamino, de ahí que, de no disponer de un material más barato, como el papel, la mera sustitución del copista por el tipógrafo hubiera hecho inoperante el invento.

Recordemos que el papel, invento chino que tradicionalmente se fija en el siglo II, se había difundido en los países árabes entre los siglos XI y XII, y penetrado en la Europa cristiana en el XIII.

En cuanto a las prensas, en los primeros siglos de la imprenta se utilizaron los antiguos tipos de tornillo a brazo con algunas modificaciones introducidas para adaptar las prensas de vino y de aceite a los fines específicos de la impresión.

En cambio fue necesario preparar una tinta compatible con el nuevo proceso, pues la composición habitual sobre la base de negro de humo y cola no adhería a los tipos metálicos, de ahí que se sustituyó por la mezcla de negro de humo y aceite de lino que se mantuvo durante varios siglos. Pero la máxima contribución del taller, o de Gutenberg mismo, es tipográfica, al idear el procedimiento de grabar en punzones las letras en relieve fundiendo con ellos matrices huecas que a su vez, permiten obtener los tipos de las letras individuales, que se distribuyen en la caja del tipógrafo, con los cuales éste compone, descompone y recompone los textos a imprimir,

dando lugar así al primer ejemplo de un proceso con "partes intercambiables".

Un solo dato señala el éxito de la imprenta y es que el número de los ejemplares impresos incunables, asciende a una cifra que en todo caso supera el número de manuscritos que todos los copistas de Europa habían escrito durante el milenio anterior a la invención de la tipografía.

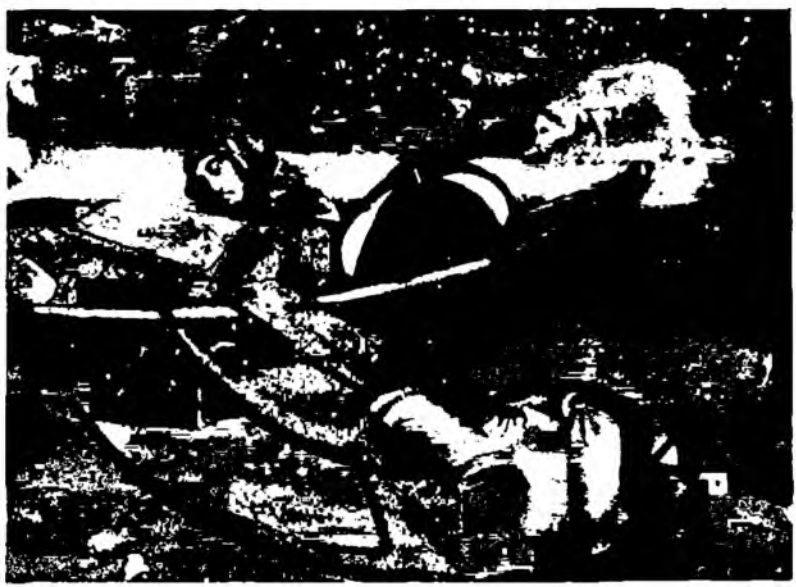
La era de los proyectos

En los dos siglos largos que desde fines del XV llegan hasta comienzos del XVIII, la inventiva en el campo técnico, sin disminuir, experimenta un relativo estancamiento en lo referente al número e importancia de los inventos e innovaciones. En ese período, por ejemplo, no se registra ningún invento de las consecuencias del hierro fundido de fines del siglo XV o del coque metalúrgico de comienzos del XVIII.

Fue en cambio un período de grandes acontecimientos políticos y económicos en el mundo occidental: el establecimiento de colonias de países europeos en los continentes extraeuropeos abre nuevas áreas no sólo políticas, sino económicas y comerciales, mientras que del derrumbe del mundo medieval surgen los estados nacionales.

Desde el punto de vista de la técnica, el período más que de transición fue de consolidación de los frutos de la revolución medieval y de preparación de la futura revolución industrial.

Arnés del caballo. Grabado del *Salterio Luttrell*, siglo XIV



Una de las primeras representaciones gráficas europeas de la carretilla.

Continúa la mecanización de la industria textil, no sin dificultades, registrándose en ese campo verdaderos rebeliones de tejedores manuales que destruyen las nuevas máquinas u obtienen, por la fuerza de los gremios la prohibición de su uso. Entre esas nuevas máquinas figuran los telares mecánicos para la confección de cintas o la fabricación de tejidos de punto, que aparecen en la segunda mitad del siglo XVI, y la tundidora accionada por medios mecánicos de mediados de ese siglo.

En las minas, los pozos, cada vez más profundos, exigen mejoras en el bombeo y en las medidas de seguridad, mientras aparecen vagonetas con rieles.

En la tecnología mecánica se perfeccionan tornos y laminadoras, aunque el mayor progreso en esa especialidad se registra en la relojería, técnica de índole especial que en este período gozaba de una corporación propia y suscitaba un interés creciente por su aplicación no sólo en la vida diaria sino en distintos sectores científicos.

Lo interesante y en cierto sentido curioso es que el máximo invento de la relojería del siglo no provino de "maestros relojeros", sino de uno de los grandes científicos del siglo XVII: Huygens quien, en virtud de las propiedades teóricas del isocronismo del péndulo y de las propiedades matemáticas de las curvas cicloidales, inventa un nuevo y mejor sistema de regulación de los relojes por la aplicación del péndulo, que patenta en 1657, para los relojes de pared, y mediante la espiral reguladora de 1675 para los relojes de bolsillo.

La patente de Huygens señala la primera contribución importante desde el punto de vista técnica aportada por la llamada ciencia desinteresada, cuyas contribuciones serán desde entonces cada vez más frecuentes. Digamos de

paso que en tiempos de Huygens la concesión de patentes de invención tenía ya más de un siglo; en Inglaterra, por ejemplo, esa concesión estaba regulada desde 1561.

Por otra parte, en la segunda mitad del siglo XVII se asiste a los ensayos precursores de la máquina de vapor. Dejando de lado procedimientos "en el papel", el primer ensayo realizado sería el del inglés Worcester, quien en 1663 publicó un catálogo de inventos, entre los cuales figura un dispositivo para elevar agua que el autor habría construido entre 1630 y 1645; en el, mediante dos cilindros y un juego de válvulas, el agua era expulsada de un cilindro por el vapor que se insuflaba en él; al condensarse el vapor, el cilindro se llenaba nuevamente de agua por succión y recomenzaba el ciclo; pero en realidad los datos acerca de esta invención y de su realización efectiva no son muy claros.

Con un ensayo posterior se vincula la figura de un inventor muy prolífico: el francés Papin, conocido por su "marmita" de 1680 en la cual, bajo presión y a temperaturas elevadas, calentaba agua con carne y huesos.

En 1673, Papin colaboró con Huygens en la construcción de una especie de "motor de combustión interna", en el cual la presión atmosférica hacía descender un pistón en un cilindro donde la presión disminuía en virtud del enfriamiento de gases provenientes de la explosión de una carga de pólvora. Señalemos que la presión atmosférica, elemento importante en la historia de la máquina de vapor, era un descubrimiento científico realizado algo más de un cuarto de siglo antes.

Más tarde, en 1707, Papin utilizó un dispositivo donde el movimiento del pistón se lograba mediante la expansión y condensación del vapor aunque en este sentido

ya en 1698 el inglés Savery había patentado un método para "elevar agua y poner en marcha máquinas, mediante la fuerza motriz del fuego, para desagotar minas, proveer agua a las ciudades y hacer trabajar todos los tipos de máquinas donde no se dispone ni de agua ni de vientos constantes" según reza la patente. La máquina de Savery, uno de cuyos perfeccionamientos consistió en separar la caldera de la bomba, fue descrita en un escrito de 1702 y aunque encontró vías de realización su éxito no fue duradero.

Fuera del campo de la invención pueden señalarse otros progresos técnicos en este período intermedio. Por lo pronto, con la aparición de libros consagrados a cuestiones técnicas se hacen sentir los beneficios de la imprenta que además importaba la ventaja, de valor inapreciable en este caso, del agregado de ilustraciones y grabados.

La imprenta hizo conocer obras antiguas; en especial ejerció gran influencia el conocimiento de la obra de Vitruvio, *De architectura*; pero también difundió obras originales sobre cuestiones especiales tales como el arte militar (tema del cual un incunable registra el primer texto técnico impreso), destilación, cerámica, vidrio, tintorería, pintura y colores, construcción de caminos, minería, metalurgia y, en general, "artes del fuego". En este último sentido cabe mencionar el tratado *De re metallica* del alemán Agrícola, aparecido en 1556 y cuyos numerosos y excelentes grabados, con buenas leyendas explicativas, constituyen una cabal descripción de la técnica en el período final de la revolución medieval.

Cabe también señalar la contribución que aportó un grupo de artistas, incluyendo entre ellos a los arquitectos,

que se interesaron en estudiar, conocer y a veces hacer conocer los fundamentos científicos y técnicos de su labor o la naturaleza de los materiales empleados en ella. Pueden agregarse las descripciones de obras técnicas especiales, como por ejemplo un libro de 1590 que describe el transporte de un obelisco egipcio de 300 toneladas, desde el Vaticano hasta la Plaza Pedro de Roma, que se llevó a cabo en 1586.

Un caso particular de publicaciones de interés técnico, típico de los tiempos renacentistas, la ofrecen las colecciones de láminas con dibujos de máquinas y otros dispositivos, denominadas con frecuencia: teatro de máquinas.

Se trata en general de inventos en el papel, de proyectos no realizados y en muchos casos no realizables, cuya abundancia hizo que se designara esta época como "era de los proyectos". Podrían señalarse algunas colecciones medievales precursoras, pero la característica de las colecciones renacentistas es el primor artístico con que están dibujadas y grabadas sus láminas, que compensa a veces su deficiencia técnica.

La historia de la técnica se ha beneficiado con el examen de esas colecciones, pues revelan las posibilidades, reales o imaginarias, de la época en ese campo así como muestran en ocasiones atisbos de inventos futuros.

El interés bastante marcado de los artistas hacia las innovaciones técnicas de su tiempo, se pone claramente de manifiesto en la obra del flamenco van der Straet, autor de una colección de láminas de 1638 (póstuma) que tituló *Nuevos descubrimientos*, donde se representan escenas vinculadas con el imán, la pólvora, la imprenta, los relojes, la curación de la sífilis por el guayaco, la destilación, la industria de la seda, los estribos, las ruedas hi-

dráulicas, los molinos de viento, la pintura al óleo, la armería, los anteojos, el grabado en cobre, la determinación de las longitudes mediante la declinación magnética, la elaboración del azúcar y del aceite de oliva; estas materias responden adecuadamente al título de la colección.

Un caso particular, aunque notable, de aquel interés lo ofrece la figura de Leonardo da Vinci.

El "caso" Leonardo

Acerca de la personalidad de Leonardo, una de las más interesantes en la historia de la ciencia y de la técnica, se ha producido una curiosa inversión en los últimos tiempos.

A la opinión, aún muy extendida, que considera a Leonardo un gran artista que ocasionalmente se ocupó de ciencia y de tecnología, se opone hoy, con fundadas razones, la convicción de que Leonardo fue esencialmente un tecnólogo, que también se ocupó de pintura y escultura.

Ocurre que hoy conocemos mejor a Leonardo que sus propios contemporáneos, quienes no vieron en él sino al artista y parcialmente al técnico, ignorando las originales concepciones científicas y los inventos e innovaciones técnicas que Leonardo iba registrando en los miles de manuscritos y dibujos que dejó inéditos a su muerte.

Tras diversas vicisitudes, ese rico material se dispersó y sólo pudo recuperarse una parte que se hizo conocer paulatinamente bajo la forma de los actuales tratados y códices. La primera compilación de escritos y dibujos de

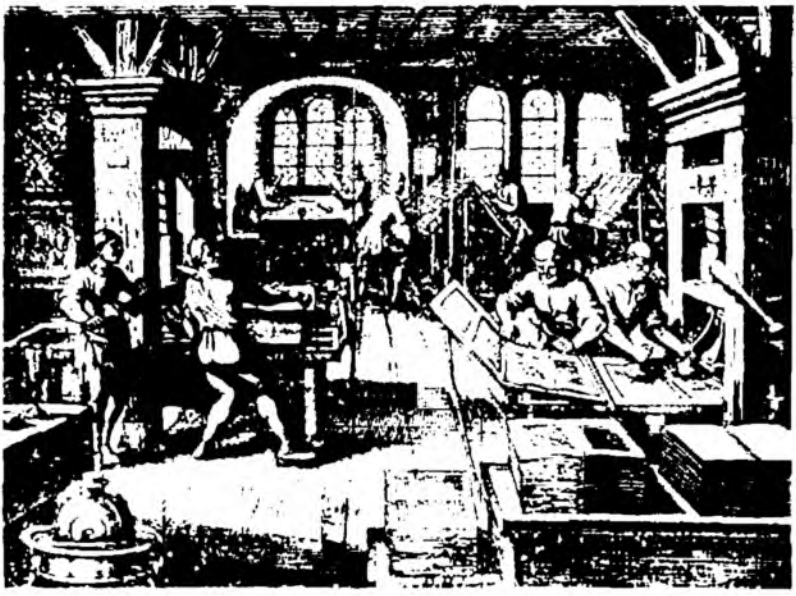
Leonardo que se publicó es el llamado *Tratado de la pintura* que apareció en 1651, casi dos siglos después de su nacimiento, mientras que están actualmente en curso de publicación los dos códices hallados últimamente (1967) en forma inesperada en la Biblioteca Nacional de Madrid.

Como técnico, Leonardo desplegó su actividad en todos los campos, artes civiles y militares, y en todos los medios: agua, tierra y aire.

Aunque sin duda tuvo a su cargo construcciones civiles, de su labor de arquitecto no han quedado sino observaciones y dibujos, entre los que se destacan sus catedrales, con plantas centrales de distinto tipo, y sus proyectos de urbanista, entre ellos la ciudad con calles en niveles distintos.

La cantidad de proyectos es simplemente asombrosa; varios millares de anotaciones y dibujos de interés técnico que figuran en los manuscritos de Leonardo, no sólo revelan que fue de los primeros en reconocer el papel de los "elementos de máquinas" en el sentido actual de esta expresión, sino que muchos de ellos son verdaderos inventos de los cuales un buen número fueron atribuidos a otros posteriormente. Aunque nada se sabe acerca de la efectiva realización de esos inventos, ni de las posibilidades que los materiales y equipos de la época ofrecían para esa realización, su nómina es larga.

En la rama de la tecnología mecánica las contribuciones de Leonardo abarcan el perfeccionamiento del torno y de otras máquinas-herramientas, la construcción de bombas, de dispositivos autorregulados, ruedas de eslabones, máquinas diversas para las industrias textil y metalúrgica, dispositivos para elevar cuerpos y erigir columnas, grúas móviles, máquinas para trabajar espejos, acuñar monedas



Imprenta del siglo XV. Grabado de la época

o filetear tornillos, molinos de viento con torrecilla móvil, etcétera.

En la rama de la ingeniería hidráulica se le deben proyectos de canalización que probablemente dirigió en Lombardía, puentes giratorios sobre canales, perfeccionamientos en la construcción y disposición de las esclusas, barcos con paletas, proyectos de dragas y excavadoras, tornillos de Arquímedes y otros dispositivos para desecación de pantanos y obras de drenaje, escafandras para buzos y dispositivos mediante flotadores para respirar debajo del agua; hasta afirma haber encontrado la manera de permanecer debajo del agua todo el tiempo que se quiera.

En su carácter de ingeniero militar en época de guerras e invasiones Leonardo tuvo que ocuparse de las artes bélicas de las cuales ofrece en sus dibujos un cuadro completo de los conocimientos que a fines del siglo XV se tenía acerca de las fortificaciones y de los medios ofensivos y defensivos, enriquecidos con perfeccionamientos que en algunos casos preludian las actuales ametralladoras, los tanques y los "shrapnels". Pueden verse en esos dibujos cañones con caños múltiples carros armados cubiertos, proyectiles explosivos, ballestas y catapultas, carros provistos de guadañas que giran durante la marcha, etcétera.

En los dibujos y manuscritos de Leonardo se encuentran aplicaciones de la fuerza expansiva de gases y vapores, en dispositivos precursores del sistema que hemos descrito de Huygens-Papin, o del sistema de las actuales "turbinas de vapor".

Leonardo se ocupó de la destilación, perfeccionando los alambiques y del análisis de las recetas y productos que se mencionan en sus manuscritos se infiere que pro-

bablemente construyó y utilizó sus alambiques perfeccionados.

Pero es indudable que las contribuciones más originales de Leonardo son las investigaciones acerca del vuelo de los pájaros y del vuelo mecánico que lo convierten en el precursor de los vuelos con aparatos más pesados que el aire.

Es probable que el deseo de lograr el vuelo humano lo llevó a una serie de minuciosas y sagaces observaciones acerca del vuelo de las aves, que reunió en 1505 en un tratado que hoy se conoce como el *Códice acerca del vuelo de los pájaros*, estudio anatómico y fisiológico de las aves en vuelo y en reposo, con consideraciones mecánicas acerca del vuelo y sus condiciones de estabilidad y de equilibrio, con viento y sin viento. Además se ocupó del vuelo de los murciélagos y de los insectos.

En cuanto al vuelo humano imaginó y dibujó una serie de máquinas voladoras, accionadas mediante el esfuerzo muscular y, en algún caso, por resortes cuya energía potencial accionaba sobre las alas del aparato. Además Leonardo estudió el vuelo planeado, inventó el paracaídas y una especie de helicóptero o tornillo aéreo.

Leonardo representa un caso único en la historia del saber. Por lo pronto es una figura de difícil ubicación en el desarrollo del pensamiento científico, por cuanto en general todo hombre de ciencia es un eslabón entre sus maestros y autores y sus discípulos y lectores; en Leonardo la cadena se rompe ya que es difícil saber a ciencia cierta qué autores o libros influyen, sobre su pensamiento, ni es fácil averiguar con exactitud quienes, en vida de Leonardo o poco después de su muerte, vieron sus escritos y los utilizaron en sus propios trabajos.

Además, Leonardo fue un autor absolutamente inédito. Lo que quedó del esfuerzo de sus manos y de su mente fueron sus pocos y discutidos, aunque hermosos, cuadros; lo demás permaneció por mucho tiempo sepultado en sus dibujos y manuscritos. En cierto sentido profesional, puede decirse que Leonardo no fue un científico; quizás afirmación tan categórica no pueda hacerse acerca del Leonardo técnico, ya que es posible que algunos de sus contemporáneos vieran sus dibujos técnicos, muchos de los cuales podían entenderse aun sin referencias escritas y hasta es posible que dieran como propias algunas de las innovaciones que esos dibujos introducían.

La revolución científica

A comienzos del siglo XVII se experimenta en Occidente una mutación favorable que se ha dado en llamar "revolución científica", en vista de los cambios provocados en el proceso científico que revelará desde entonces un desarrollo creciente, hasta culminar en los tiempos actuales, cuando parece asomar una nueva revolución.

En aquellos cambios influyeron factores extrínsecos, provenientes de la nueva atmósfera social y económica que envolvía al mundo occidental, y factores intrínsecos provenientes de la nueva concepción del saber que se estaba forjando al abrigo de esa atmósfera.

Una característica del nuevo saber, que en este caso interesa destacar, es la visión que la naturaleza ofrece al hombre moderno, en la que se ha desvanecido el animis-

mo y el carácter sagrado que habían impedido en los tiempos antiguos y penetrar en ella. Ahora la mano ya no teme profanarla con su actividad y la experimentación, fruto de esta actividad, será una de las notas distintivas de la nueva ciencia.

En el nacimiento de esa valiosa mezcla o combinación que constituye el método experimental, ha influido sin duda el desarrollo que experimentó la técnica desde los tiempos medievales; entendiendo la técnica en el sentido literal de arte, como actividad de artesanos y de artistas: de los artesanos con el manejo y utilización de los recursos que ofrecía la naturaleza como inagotable fuente de energía y de los artistas, en su afán de reproducir los valores estéticos que descubrían en una naturaleza despojada de todo prejuicio.

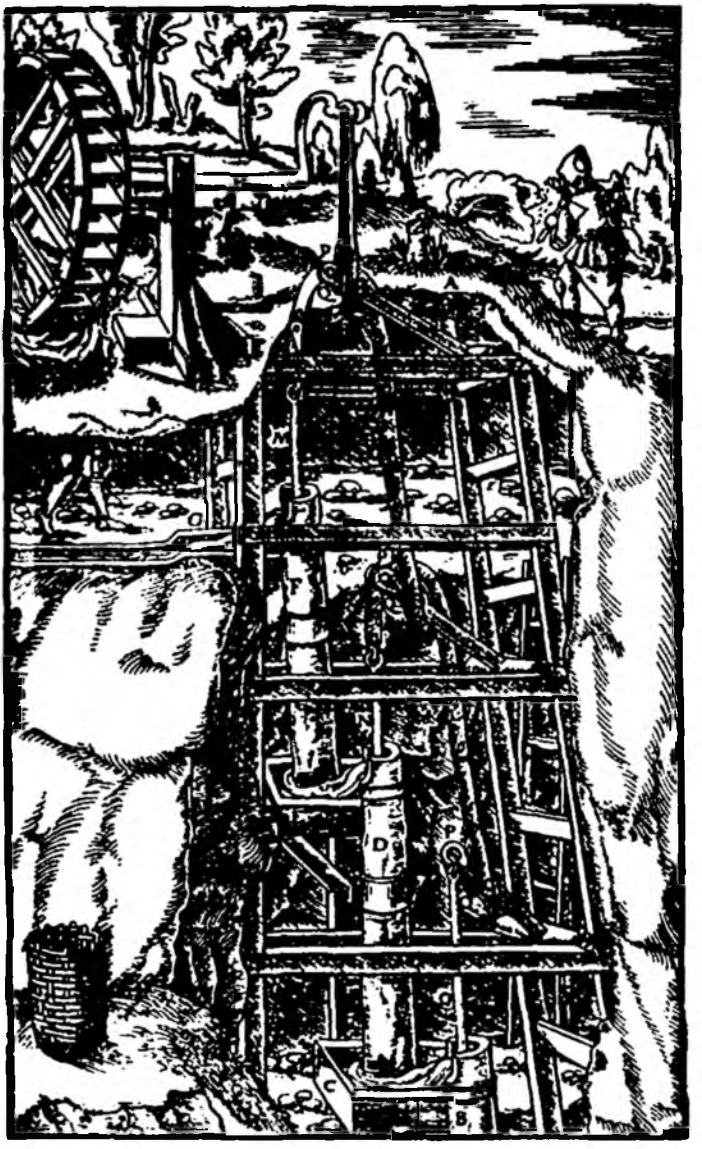
La vinculación entre los procesos técnico y científico que establecía la visión común de la naturaleza fue más bien de carácter subterráneo e invisible; más patentes y visibles fueron otras interrelaciones entre ambos procesos, sin llegar empero a la simbiosis de los tiempos actuales.

Así, los instrumentos científicos indispensables en el método experimental tendieron un puente entre técnicos y científicos. Los fabricantes de instrumentos científicos y de medida constituyeron una nueva profesión y en alguna ocasión sus negocios y talleres fueron lugar de reunión de científicos, sin excluir la construcción o colaboración en la construcción de esos instrumentos por parte de los científicos mismos; ya mencionamos a Huygens, agreguemos los telescopios de Galileo y de Newton, las máquinas neumáticas de Guericke y Boyle y las máquinas de calcular de Pascal y Leibniz.

El interés de los científicos por la técnica y el aprecio por sus inventos se pone también de manifiesto en las consideraciones de carácter general acerca de la importancia de las "artes útiles" que puede advertirse en los heraldos de la nueva ciencia: Bacon y Descartes; así como en el objeto de la Royal Society de Londres que se propone "el progreso del conocimiento de las cosas de la naturaleza y el perfeccionamiento, mediante la experiencia, de las artes útiles, la manufactura, la práctica mecánica, las máquinas y los inventos...", aunque tal interés, hasta tiempos recientes, se limitó a tratar de satisfacer las exigencias técnicas del método experimental la ciencia iba absorbiendo lenta pero continuamente dominios técnicos —balística, dióptrica, procesos térmicos y químicos—, traduciendo su empirismo en términos racionales, sin penetrar, empero, en el análisis del saber técnico mismo, de sus fundamentos y de sus consecuencias.

A modo de ensayo puede concluirse que si parece indudable que la ciencia se benefició con los progresos que la técnica había logrado en los tiempos de la revolución científica, no parece posible afirmar que la recíproca sea cierta. La técnica como tal siguió divorciada de la ciencia; quizás algo menos los técnicos de los científicos. Sin duda algo se había andado desde el artesano medieval, iletrado, pero ingenioso, y el ingeniero renacentista, hidráulico o militar, que gozaba en las cortes igual estima que el médico o el astrólogo. Los libros y la atmósfera científica establecieron un acercamiento mayor entre técnicos y científicos pero, en general, en los técnicos siguió privando el método de prueba y error, la invención sobre la investigación.

En algunos casos, el técnico y el científico se dieron la mano, en otros llegaron a confundirse en la misma per-



Triple bomba aspirante accionada por energía hidráulica; fue utilizada para el drenaje de minas. Grabado de *Re metallica*, de Agrícola, 1557

sona, pero aún falta mucho para el actual abrazo entre ciencia y técnica, abrazo tan estrecho que no es fácil distinguir la separación.

Por lo pronto, fue necesario el nuevo incremento en el ritmo del proceso técnico que proporcionó la tercera de las revoluciones industriales que pueden advertirse en ese proceso: la llamada por antonomasia "revolución industrial".

La "revolución industrial"

La expresión "revolución industrial", aplicada esencialmente al progreso experimentado por la técnica y la industria en Inglaterra durante el siglo XVIII, fue acuñado a fines de ese siglo y aceptado más tarde por economistas y sociólogos.

Un conjunto de factores sociales y económicos, característicos de Inglaterra, pueden dar cuenta del porqué ese país y no el continente fue la región donde se inició aquel progreso.

Por lo pronto cabe señalar que Inglaterra había sido el primer país que superó la etapa doméstica de las actividades fabriles. En efecto, hasta bien entrada la Edad Media, con excepción de la agricultura y la minería, en todas aquellas actividades el artesano era dueño de sus instrumentos de trabajo y en muchos casos también de la materia prima a elaborar.

Pero, tímidamente en sus comienzos, más abiertamente después, este estado de cosas cambia. La construcción de altos hornos y de maquinaria más pesada y la exigencia de una mayor disponibilidad de energía obliga a

la concentración de esfuerzos: mayor capital para las instalaciones, materia prima en cantidad y personal más numeroso. Paulatinamente, la actividad fabril pasa de artesanal a industrial; nacen talleres, tejedurías y fábricas, mientras que aparecen fábricas importadas de productos que Inglaterra no elaboraba —papel, pólvora, refinería de azúcar.

A estos factores de orden técnico han de agregarse factores políticos, económicos y sociales. Después de las luchas y revoluciones del siglo XVII, Inglaterra penetra en una era de paz interna y de tolerancia religiosa; dueña de los mejores barcos, el dominio de los mares —desde la derrota de la "invencible" armada española en 1588— le aseguraba el comercio marítimo; en el orden interno un sistema de cercamientos habían convertido tierras estériles en laborables, aumentando la producción agropecuaria; por lo demás, disponía de materias primas; carbón y minerales de hierro, así como de un sistema bancario bien desarrollado con dinero barato, y una atmósfera de tono optimista bajo el imperio del liberalismo económico impregnado de las ideas de Adam Smith.

La nueva mentalidad industrial, que todos esos factores contribuyeron a fortalecer, mostró efectos beneficiosos también en el campo de la formación del personal adecuado al nuevo estado de cosas, ya logrando que en algunas universidades, como la de Glasgow, rompiera el molde tradicional incluyendo cursos de ciencia aplicada, ya corriendo el riesgo de formar los artesanos especializados en sus propios talleres, sistema que dio lugar más tarde a las escuelas profesionales de las fábricas.

Cabe por último señalar el interés público hacia la divulgación de los conocimientos vinculados con el pro-

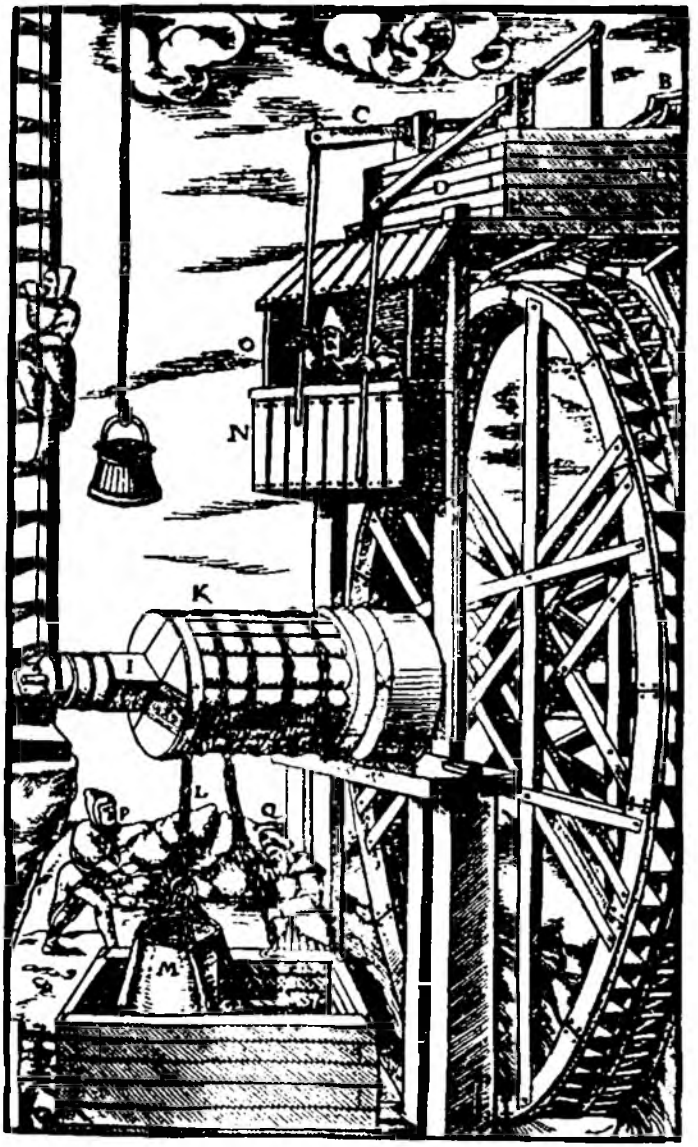
greso técnico y hacia sus relaciones, que iban asomando con los progresos científicos contemporáneos; interés que en Inglaterra culmina con la fundación en 1799 de una institución privada: la Royal Institution de Londres, que nace por iniciativa del conde Rumford, científico y técnico original, inventor él mismo, y destinada según esa iniciativa" a difundir el conocimiento y facilitar la presentación general de las invenciones y mejoramientos mecánicos útiles y para enseñar, mediante cursos de conferencias científicas y experimentales, las aplicaciones de la ciencia a los fines comunes de la vida". Agreguemos que esa institución fue el hogar científico del más grande de los físicos experimentales: Faraday.

Mientras que en la Inglaterra del siglo XVIII predomina, en el campo de la técnica, un espíritu de índole práctica, diríase experimental, en el continente, en especial en Francia, ese espíritu se manifiesta en forma teórica y en expresiones literarias, más que en realizaciones prácticas. Así, la formación de personal especializado, ante las nuevas exigencias industriales, se tradujo en la creación de escuelas oficiales superiores —de Puentes y Calzadas (1747), de Minas (1783), Politécnica (1794)—, mientras que la divulgación de conocimientos se hizo mediante la creación, también oficial, del Conservatorio de artes y oficios de París en 1794. Por su parte, el interés general hacia las artes y los oficios se puso de manifiesto en la obra literaria típica del siglo XVIII francés: la *Enciclopedia o diccionario razonado de ciencia, artes y oficios*, cuya alma fue Diderot y cuya finalidad profunda, que en parte cumplió, era la de "modificar la manera corriente de pensar", dentro de los principios de la Ilustración: confianza en el poder de la razón, liberación de prejuicios y de todo sometimiento espiritual a los poderes políticos o religiosos.

Es dentro de su finalidad como diccionario que la *Enciclopedia* asigna importancia a las artes mecánicas, a los oficios y a las manualidades, respecto de las cuales, según dice Diderot al referirse a un diccionario anterior, se habían leído los libros, pero no se habían visto los artesanos, agregando que muchas cosas no se aprendían sino en los talleres. De ahí la preocupación de la obra para dar una información completa de los artes y oficios, recurriendo a los obreros mismos, visitando sus talleres, conversando con ellos y escribiendo bajo su dictado, pues "en muchos casos se hace necesario mover las máquinas con las propias manos y convertirse en aprendices, por así decir, y fabricar malos trabajos para enseñar a hacerlos buenos". En ese sentido, la obra expone en cada caso las características de la materia empleada, la descripción y fabricación de los distintos objetos que pueden hacerse con ella, los términos propios de cada arte u oficio, la descripción y dibujo de las máquinas y herramientas utilizadas, etc. Esos artículos, y sobre todo las láminas correspondientes (de las cuales se ha publicado hace poco una edición por separado), ofrecen un panorama completo de esas manualidades tal como se practicaban en Francia a mediados del siglo XVIII.

Sin embargo, en este campo la *Enciclopedia* no captaba el sentido de la evolución que se estaba gestando hacia el maquinismo. Si bien se ocupaba de las manufacturas y de los oficios tradicionales, sus máquinas eran aún del tipo de las máquinas controladas por el hombre; así, mientras dedica, más de ochenta láminas al torno, en el artículo "Fuego" no dedica sino cinco láminas a la máquina de vapor.

Sin embargo, hacía casi medio siglo que la máquina de vapor estaba revolucionando la industria inglesa.



Elevador reversible accionado por energía hidráulica.
De *Re metallica*, de Agrícola, 1557

La primera máquina de vapor digna de este nombre fue instalada, para desagotar una mina inglesa, por Newcomen en 1712. La máquina de Newcomen no era sino una combinación, más afortunada, de elementos conocidos. El vapor producido por la caldera penetraba en un cilindro en el cual su expansión provocaba la elevación de un pistón; al inyectar agua fría en el cilindro el vapor se condensaba y el pistón descendía por acción de la presión atmosférica (de ahí el nombre de máquina atmosférica); mediante un balancín, al descender el émbolo del pistón del cilindro se elevaba el émbolo del pistón de la bomba que desagotaba el pozo.

Las máquinas de Newcomen con diversos perfeccionamientos se mantuvo en uso hasta fines de siglo, con ellas se vinculan las investigaciones experimentales de Smeaton, modificando los dispositivos y dimensiones de los elementos de la máquina a fin de obtener un mayor rendimiento con el mínimo consumo de combustible, llegando a construir máquinas de una potencia próxima a los 80 caballos.

Pero ya para esta fecha aparece Watt con sus mejoras. Watt, mecánico encargado de conservar y reparar los instrumentos de física de la universidad de Glasgow, tuvo ocasión de estudiar la máquina de Newcomen, con motivo de reparar el modelo que poseía la Universidad para las demostraciones. Auxiliado por los consejos de Black, profesor en esa universidad y autor de estudios teóricos sobre el calor, Watt advirtió que en la máquina de Newcomen una gran cantidad de calor se perdía sin efecto mecánico, a fin de subsanar ese inconveniente ideó una serie

de modificaciones que patenta en 1769, entre las cuales la más importante fue el agregado de un recipiente: el condensador, donde se condensaría el vapor sin necesidad de enfriar el cilindro.

Siete años después de su patente, Watt logra producir su máquina en escala industrial, gracias a la asociación con un industrial emprendedor con quien funda una floreciente empresa, al empleo en sus talleres de buenos mecánicos con inventiva y a las ventajas que le ofrecía la industria metalúrgica al proporcionarle, por ejemplo, cilindros de construcción casi perfecta. Es interesante señalar el procedimiento mediante el cual la empresa de Watt explotó el invento: se proporcionaba gratuitamente la máquina y su instalación, exigiendo en pago el tercio de la economía en combustible que se lograba, para igual potencia, entre una máquina con condensador (Watt) y la atmosférica correspondiente (Newcomen).

Watt fue un inventor prolífico; mejoró su máquina con inventos sucesivos; en su patente de 1781 incluía cinco métodos para convertir el movimiento del émbolo en movimiento circular y transformar su máquina en "rotativa" (entre ellos no figura la aplicación del sistema biela-manivela patentada un par de años antes), en cambio figura un sistema original llamado "sol y planeta", por la analogía con las excéntricas de los antiguos sistemas planetarios; una tercera patente de 1782 introduce el sistema de doble efecto mediante la acción alternada del vapor sobre ambas caras del pistón; a esos inventos, que se van encadenando, agrega en 1784 el "paralelogramo articulado" que lleva su nombre y mejora la trasmisión mediante el balancín. Más tarde, en 1787, Watt introdujo el regulador centrífugo (ya estaba patentado en forma más rudimentaria para la industria molinera) que regula auto-

máticamente la velocidad en el suministro de vapor, y que constituye un dispositivo precursor de los actuales mecanismos de automación. Todos estos inventos permitieron la construcción y explotación de las más eficaces máquinas de vapor rotativas en funcionamiento durante la última década del siglo. Se calcula que la empresa de Watt construyó en total unas quinientas máquinas, de las cuales sólo la tercera parte se aplicó al bombeo de las minas; supuesta una potencia media de 15 caballos, esas máquinas proporcionaron un incremento de 7.500 caballos a la potencia que los recursos naturales habían ofrecido antes de Watt.

Un último invento de Watt, vinculado con la máquina de vapor, es el "indicador" que lleva su nombre, patentado en 1782 pero puesto en práctica perfeccionado a fines de siglo, que traduce gráficamente la relación entre la presión y el volumen del vapor, de ahí su importancia tanto del punto de vista técnico como científico.

A partir de 1800 el perfeccionamiento más importante que experimenta la máquina de vapor es la utilización del vapor a alta presión, dando lugar a las máquinas "compound", de doble expansión —de 1804— y más tarde, hacia 1880, a las de triple expansión. Estas máquinas, que eliminan el condensador, obligaron a importantes modificaciones en las calderas, en las cuales el sistema multitubular aparece hacia 1829, perfeccionándose en 1867. Otras mejoras experimentó la máquina en los sistemas de distribución del vapor mediante válvulas y tiradores y, en especial, debido a la creciente sustitución de piezas de madera por piezas metálicas.

La potencia de las máquinas de vapor fue en constante aumento. Hacia 1850 el término medio era de 40 caballos, aunque había máquinas de más de 250, cuando

se habla de máquinas de tierra, pues en los primeros "vapores" de la época sus máquinas alcanzan a potencias de más de mil caballos. En la segunda mitad del siglo esas potencias se alcanzan también en tierra; hacia 1880 una máquina de 400 caballos no era una excepción, llegándose a fines del siglo hasta los 8.000 caballos, valor próximo a su límite máximo. La máquina de 10.000 caballos, para el subterráneo de New York de 1899, tres años después era chatarra.

A la contribución cuantitativa que aportó en el siglo XIX la máquina de vapor con el notable incremento de la energía disponible, debe agregarse una contribución de índole más cualitativa: su aporte en la primera mitad del siglo al progreso de la teoría del calor y de la termodinámica. La frase de un historiador según la cual "hasta 1850 la máquina de vapor hizo más por la ciencia, que la ciencia por la máquina de vapor" tiene mucho de cierto.

En la primera mitad del siglo pasado la acción del vapor se utilizó también en forma directa para mover grúas y martinetes, pero la máxima potencia que se logró con el vapor fue mediante las turbinas, que pueden considerarse así mismo de acción directa, al producir un movimiento de rotación sin el intermediario del émbolo y cilindro, como ocurre en las máquinas de vapor rotativas.

Si bien pueden registrarse precursores de la turbina de vapor, la historia de la turbina moderna comienza con el sueco De Laval en 1882 y, sobre todo, con el inglés Parsons que un par de años después inventa la turbina de reacción, encontrando esas turbinas desde fines de siglo su principal utilización en los vapores y en las centrales eléctricas, llegando a desarrollar potencias de varios centenares de miles de caballos o de kilovatios.

La idea, ya intentada por la pareja Huygens-Papin, de utilizar como fuente de energía la expansión de un fluido distinto del vapor, fue retomada en el siglo XIX. Además de aparecer un motor de aire caliente, que es de combustión externa como la máquina de vapor, en la primera mitad del siglo se inventan diversos tipos de motores de combustión interna, como el de Huygens-Papin, que logran posibilidad industrial en 1867 con el tipo Otto-Langen. Más tarde distintos perfeccionamientos —utilización de hidrocarburos (el petróleo se descubrió en 1859), encendido eléctrico— y los esfuerzos para lograr mayor velocidad y menor peso, permitieron hacia 1883 un motor de combustión interno aplicable a la locomoción. Diez años después el alemán Diesel patenta su motor, que utiliza aceites pesados, y pronto los motores de combustión interna conquistan el transporte por tierra, mar y aire, mientras desempeñan un papel preponderante en la mecanización de la agricultura. Por su parte, a comienzos de este siglo, nacen las turbinas de gas que, a partir de 1930, con su aplicación a la propulsión de los aviones, inician una nueva era en la navegación aérea.

Agua y viento

Durante el siglo XVIII y comienzos del XIX siguió utilizándose el molino de viento tradicional, aunque la construcción metálica de los molinos fue simplificando y modificando su estructura y fines, hasta convertirlo en el mecanismo destinado al bombeo, con dispositivos de autorregulación que aún se ven en las zonas rurales, donde todavía no ha llegado la electrificación.

Matemáticos e ingenieros del siglo XVIII estudiaron experimental y teóricamente el funcionamiento del molino y su mejor rendimiento, teniendo en cuenta la velocidad y dirección del viento, la forma y disposición de las alas, la inclinación del eje, la velocidad de rotación, encontrando en algunos casos que la solución óptima ya había sido encontrada empíricamente por los constructores de molinos.

Las ruedas hidráulicas experimentaron una evolución semejante, aunque de resultados más importantes. De su estudio teórico y experimental durante el siglo XVIII resultó más eficaz la rueda de admisión superior, para lo cual se utilizaron a veces máquinas de Newcomen para elevar el agua al nivel conveniente. Aparecieron ruedas con admisión lateral y en 1827 la turbina hidráulica, que a mediados de siglo llega a potencias de los 800 caballos. A partir de 1860 comenzó a utilizarse la energía hidráulica proporcionada por las caídas de agua, llamada desde entonces "la hulla blanca", en especial en las usinas hidroeléctricas, mediante turbinas o ruedas.

El hecho de ofrecer las caídas de agua una fuente de energía muy provechosa, ya que más del 90 % es aprovechable, unido al transporte barato de la electricidad a las zonas donde hace falta, explica el gran desarrollo de las usinas hidroeléctricas en las regiones que carecen de otras fuentes de energía.

Agricultura y minería

Así como ocurrió en las revoluciones neolítica y medieval, la revolución industrial del siglo XVIII fue acompañada por una revolución agrícola que en Inglaterra, centro

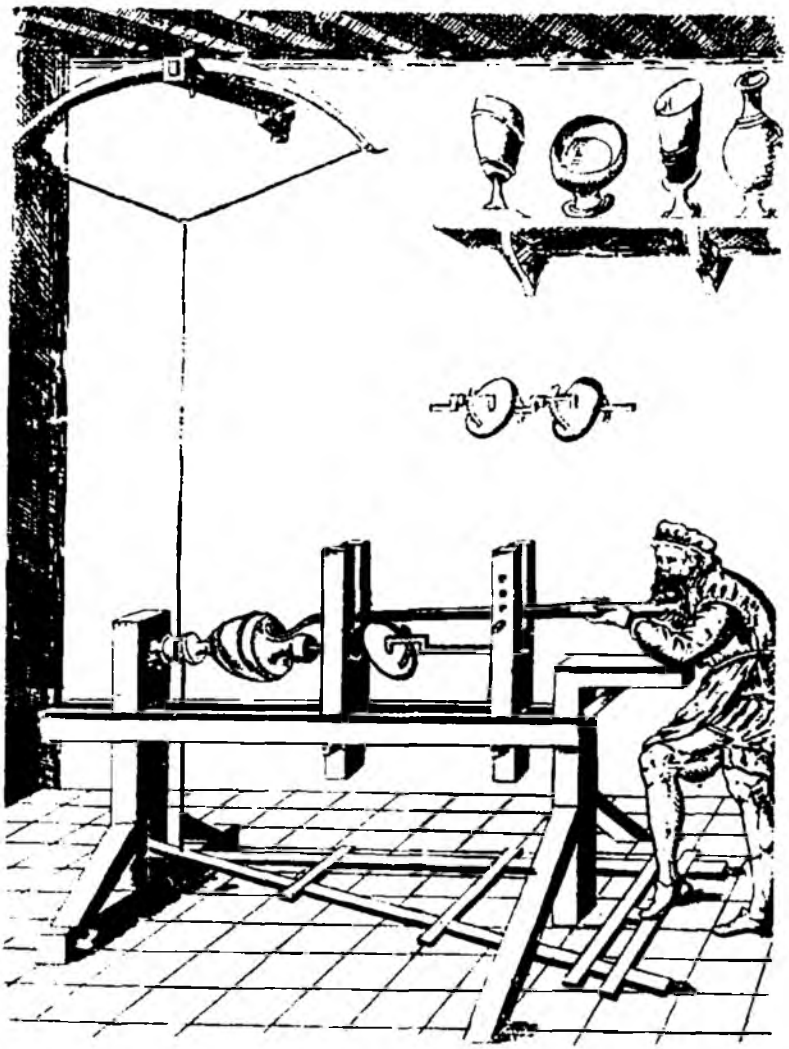
de la revolución industrial, se tradujo en la adopción de nuevos métodos de trabajo.

Se perfeccionan los métodos de drenaje y se establecen nuevas rotaciones en los cultivos; se asiste a un gran desarrollo, aunque con métodos empíricos, en el mejoramiento del ganado como lo denuncia la abundancia de nombres ingleses en las razas y variedades actuales; se inicia la cría de animales con árbol genealógico; se introducen variedades de pastos y abonos; y se difunden los nuevos métodos agrícolas mediante asociaciones, libros y periódicos.

De los productos agrícolas provenientes de ultramar y que se aclimataron en Europa, los más importantes fueron el maíz y la papa; aunque ambos eran conocidos en el siglo XVI, su difusión no fue inmediata. El maíz fue al principio olvidado y cuando volvió a conocerse, en algunos países es "grano turco", pues proviene de Oriente. La papa entró en la alimentación diaria más tarde, vencido en algunas regiones el prejuicio en contra de su cultivo, en virtud de la creencia en que traía la lepra.

Un caso especial de un nuevo cultivo de una planta europea es el de la remolacha, cuando se descubre en el siglo XVIII que de ella puede extraerse azúcar y en 1801 se levanta en Silesia la primera fábrica de azúcar de remolacha.

En los útiles de labranza el hierro va sustituyendo cada vez más a la madera, y a fines del siglo XVIII se inicia la mecanización de las tareas agrícolas que toma impulso hacia el primer tercio del siglo XIX apareciendo máquinas segadoras, gavilladoras, emparvadoras, sembradoras, que más tarde se combinan y hacia 1914 exigen el uso y difusión del tractor, que hacia 1932 se equipa con ruedas especiales para terrenos arcillosos y *barrosos*.



Torno. Ilustración de un libro del siglo XVI.

En cuanto a la industria minera, no experimentó mayores progresos entre los siglos XVI a XVIII; la prospección, a la espera de la ciencia geológica que es del siglo pasado, seguía con métodos empíricos, cuando no empleaba la varilla del rabdomante.

La explotación, ya no a cielo abierto, exigió nuevas técnicas en la construcción y mantenimiento de pozos y galerías: en el siglo XVII se introduce el empleo de la pólvora y en el XVIII varias mejoras: uso del vapor para desagotar los pozos, ventiladores para la conducción de aire; y los rieles de hierro fundido para las vagonetas, mientras que se adoptan protecciones en contra de los derrumbes y de las explosiones, tanto más peligrosos cuanto más profundas eran las minas, de ahí la importancia de las "lámparas de seguridad", entre las cuales tuvo éxito, aunque no inmediato, la creada por el químico Davy a comienzos del siglo XIX como resultado de sus estudios teóricos acerca de la llama.

Ya hacia fines del siglo XVIII habían aparecido las cortadoras mecánicas en las minas de carbón, a mediados del XIX son accionadas mediante aire comprimido y a fines de siglo por la electricidad; continuándose la mecanización con la introducción de cargadoras mecánicas, cintas transportadoras, etcétera.

Metalurgia y textiles

El invento más importante de la industria metalúrgica que inicia cronológicamente la etapa de la "revolución industrial" es la obtención del coque metalúrgico, logrado por la familia Darby de metalurgistas ingleses. Con él se

resolvía el problema que afectaba a la industria metalúrgica inglesa debido a la creciente escasez de carbón de leña, provocado en parte por la progresiva deforestación y en parte por las exigencias mayores de combustible doméstico. Este hecho obligaba a Inglaterra a importar hierro, a pesar de disponer de mineral de hierro y de carbón mineral, en abundancia como para exportar, pero que no podía servir de combustible en vista de las sustancias extrañas que contenía y que viciaban el hierro fundido.

Fue Darby padre quien, en 1708, había patentado los moldes de arena para fundición, quien logra al año siguiente convertir el carbón mineral en combustible útil (coque), aunque es posible que sus ensayos no dieran el resultado favorable que logrará Darby hijo a mediados de siglo, cuando la fabricación del coque pasa al continente.

A fines de siglo, al compás de los progresos de la química, comienzan a aparecer escritos de autores científicos que se ocupan de la metalurgia desde un punto de vista teórico y en parte experimental, entre los cuales Réaumur, científico múltiple, que en 1772 hizo conocer *El arte de convertir el hierro forjado en acero y el arte de pasar del hierro fundido al hierro dulce.*

La siderurgia realiza nuevos progresos en los siglos XVIII y XIX; hacia 1783 aparece el pudelado (conversión de hierro en bruto en hierro maleable) y se perfecciona el laminado; con la introducción del aire precalentado en 1829 y el uso del material refractario los altos hornos comienzan a adoptar la forma actual.

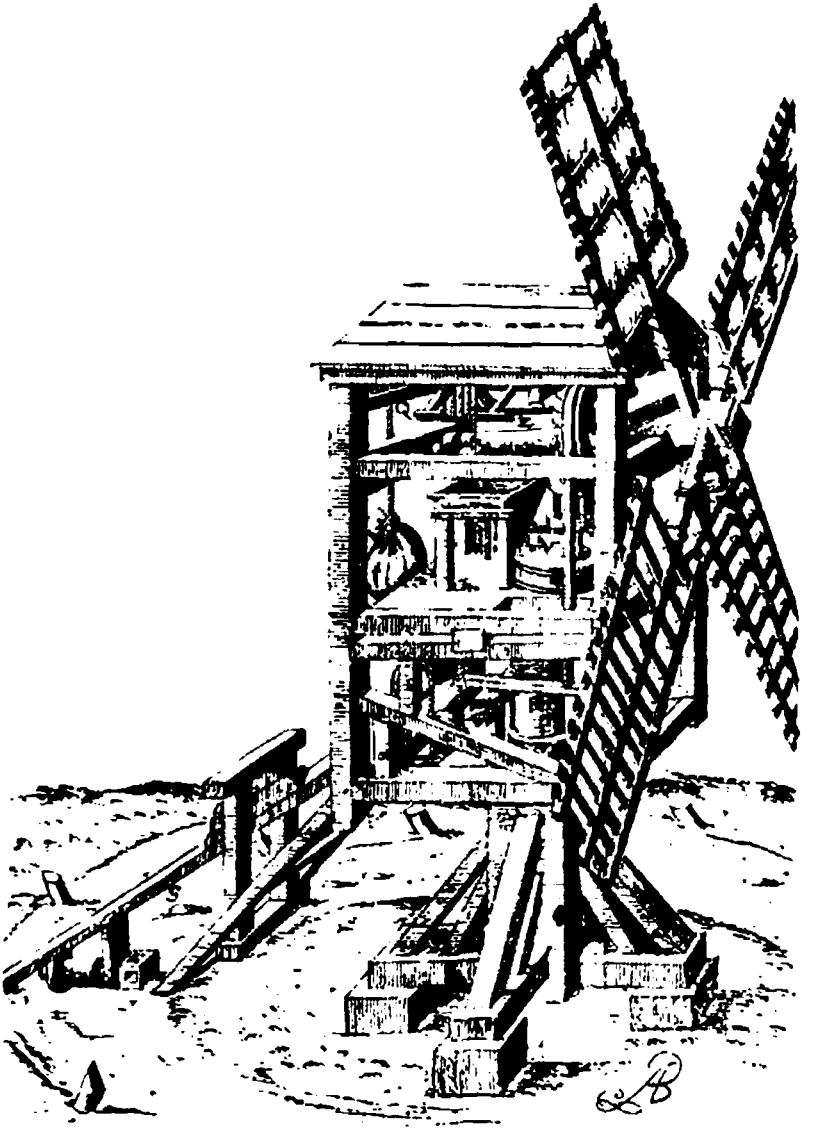
En cuanto a la metalurgia del acero, a mediados del siglo XVIII aparece el proceso de fusión del acero "al crisol", que permite obtener un producto más homogéneo; pero el invento que inicia la "edad del acero" es de 1856

y se debe al inglés Bessemer que lo describe en *La manufactura de hierro y acero maleables sin combustible* (en efecto, descarbura la fundición mediante un violento chorro de aire), así como su aparato especial: el "convertidor", que de fijo convierte en volcable cuatro años después.

Durante el siglo se registraron nuevos perfeccionamientos en la industria del acero mediante el invento de hornos especiales que permitieron fabricar acero a partir de la chatarra o de fundiciones fosforosas o sulfurosas, así mismo nacen aleados (aleaciones de acero con determinados metales) y los llamados aceros rápidos en cuyo invento colaboró Taylor, el autor del llamado taylorismo u organización racional del trabajo, que hace conocer hacia 1903 como resultado de investigaciones y experiencias realizadas en la última década del siglo pasado.

En cuanto a los metales no ferrosos, poco puede decirse hasta fines del siglo pasado cuando los procesos electrolíticos permitieron su obtención en muchos casos. Hasta entonces, la metalurgia de los metales conocidos desde antiguo no experimentó mayores cambios, mientras que respecto de los numerosos metales nuevos que iban apareciendo su obtención no traspasó los lindes de los laboratorios.

Uno de los metales descubiertos a comienzos del siglo XIX que a mediados de siglo se obtuvo en escala industrial, aún reducida, fue el aluminio, importante en especial por su resistencia a la corrosión, fenómeno que preocupó a los metalurgistas y que se había convertido en un verdadero problema en el caso del hierro, encontrando una solución a comienzos del siglo con el "hierro galvanizado", que se obtenía por inmersión de las láminas de hierro en cinc fundido.



Molino de viento

Se ha visto en la industria textil, y en especial en el hilado, el prototipo de la transformación que introdujo el maquinismo en la etapa característica de la "revolución industrial". Baste recordar que entre comienzos del siglo XVIII a mediados del XIX, las exportaciones británicas de tejido aumentaron varios miles de veces.

El proceso se inicia en el tejido, con la aparición en 1773 de la "lanzadera volante", y en el hilado con el proceso mediante rodillos de 1738. Ya en franco período de mecanización aparecen en 1764 las "juanitas" donde varios husos están montados en el mismo bastidor, dispositivo que se combina con los rodillos cuatro años después, y como en 1771 se instala con él una fábrica movida por energía hidráulica se explica el nombre de "bastidor hidráulico" que adopta esta máquina de hilar.

Un paso más adelante se da en 1774 cuando se patenta la "mula", máquina de hilar así llamada por combinar las ventajas, en la torcedura del hilo, de las juanitas y del bastidor hidráulico; y será a estas "mulas" que se aplicarán las máquinas de vapor en 1790. Como esas máquinas ya se habían aplicado a los telares unos años antes, hacia fines de siglo la industria textil doméstica había finalizado su etapa, no sin actos violentos, y comenzaban a aparecer signos de integración al reunirse en la misma fábrica hilado y tejido.

El último invento del siglo ya no es europeo sino estadounidense: es la desmotadora de algodón que patenta en 1793 Whitney, inventor e industrial con quien se vincula el proceso de fabricación hoy llamado de "piezas intercambiables", que inaugura en 1800 en la fabricación de mosquetes, aunque existe un antecedente francés anterior en unos años.

A comienzos del siglo pasado el francés Jacquard inventa un telar en el cual se podían insertar hilos de colores distintos y fabricar tejidos con dibujos variados mientras se reduce el tamaño del telar al sustituir el hierro en lugar de la madera. Más tarde se mecanizan la "mula", convirtiéndose en automática ("Self-acting" = selfactina) en 1825, el estampado en 1832, y a mediado de siglo el peinado de la lana.

La industria textil cambia completamente de panorama en este siglo al aparecer las fibras artificiales, de las cuales es precursora la seda artificial que, en 1884, patenta el francés Chardonnet, y que pertenece al tipo del actual "rayón", que se industrializa en los Estados Unidos en 1911 y que integra con el "nylon" de 1938 la pareja de las primeras fibras sintéticas importantes industrialmente.

Tecnología mecánica

El desarrollo del maquinismo, característico de la "revolución industrial", trajo a primer plano la máquina, típico invento humano que adquiere un nuevo carácter que obliga a análisis teóricos; se la define y clasifica, así como sus "elementos" y los distintos mecanismos simples, mientras que en el campo práctico evoluciona desde el mero manejo hasta su automatismo.

La máquina de vapor y los progresos de la siderurgia permitirán, a partir de mediados del siglo XVIII, la fabricación de útiles y de máquinas-herramientas que debían satisfacer las exigencias crecientes de la industria poniendo a prueba la inventiva de técnicos europeos y estado-

unidenses. Fue uno de estos fecundos inventores, el inglés Maudslay a quien se debe, a fines del siglo XVIII, los primeros perfeccionamientos del torno que proseguirán con el torno revólver de 1845 y con el automático hacia 1870.

Cabe mencionar al francés Vaucanson que, además de ocuparse del torno y de otras máquinas, es conocido por sus autómatas y su colección de modelos de máquinas que en 1794 sirvieron de base para la fundación del Conservatoire des Arts et Métiers de Paris.

En el siglo XIX aparecen las primeras grandes industrias mecánicas, de cuyos talleres salen tornos, fresadoras, acepilladoras, taladradoras, perforadoras, etcétera, así como máquinas especiales: prensa hidráulica, martinete y máquinas-herramienta de toda clase.

En competencia con los ingleses los mecánicos estadounidenses se ocuparon en la construcción y perfeccionamiento de máquinas-herramienta, en especial vinculadas con la fabricación de armas, por cuanto, durante el siglo XIX, los Estados Unidos estuvieron envueltos en distintas operaciones militares y bélicas. Ya mencionamos la fábrica de mosquetes de Whitney, agreguemos el mecánico Blanchard que en 1818 inventa el torno para copiar formas irregulares para la fabricación de culatas de fusil y a Colt por su revólver de 1835.

En la fabricación de armas, en especial cañones y en general en la industria del acero, se destaca Alemania que en el último cuarto del siglo pasado asume la iniciativa en materia tecnológica en Europa. Mencionemos la casa Krupp, que se funda en Essen en 1811, de gran gravitación en las dos guerras mundiales de este siglo y a los hermanos Mannesmann que en 1885 patentan su método de fabricación de tubos de acero sin soldadura.

En este siglo los progresos en la industria mecánica se deben más a la mejora en los rendimientos que a nuevas invenciones importantes.

El empleo de nuevas aleaciones, de los aceros rápidos, del carburo de tungsteno, del soplete oxhídrico, han facilitado la construcción de las herramientas, mientras que la producción en masa, la creciente automatización con el empleo de células fotoeléctricas u otros dispositivos similares han contribuido a un mayor rendimiento y productividad.

La mecanización de los siglos XVIII y XIX se extendió a distintos campos; a las armas de fuego con la importante innovación del fusil de aguja con cierre de cerrojo del alemán Dreyse en 1836 y la ametralladora Maxim (del nombre de su inventor) de 1883; a las actividades domésticas, en especial al arte de la costura, mediante la fabricación de horquillas y broches y la construcción de máquinas de bordar y de coser; entre estas últimas las más difundidas fueron las del estadounidense Howe de 1846, que unos cinco años después perfecciona Singer, y a los instrumentos de medida y de precisión.

Respecto de estos últimos instrumentos mencionemos los progresos de la relojería en el siglo XVIII, cuando se introduce el escape libre de áncora, la compensación térmica y se perfeccionan los relojes de bolsillo. Es en ese siglo cuando aparecen los cronómetros marinos eficaces, en este campo la figura es el inglés Harrison quien, con su cuarto cronómetro de 1765, obtuvo el premio que el Parlamento británico había destinado a ese fin. Una medida de la precisión lograda desde entonces la ofrecen los siguientes datos: el cronómetro nº 4 de Harrison podía, ocasionalmente, sufrir saltos de 10 segundos por día, en 1800 ese salto se había reducido a la mitad, y ac-

tualmente es inferior a 0,05 segundos por día, es decir que en menos de dos siglos el error se ha reducido a la centésima parte.

En la construcción de instrumentos científicos, cada vez más precisos, se destaca el inglés Ramsden cuyas máquinas de filetear tornillos le permiten, hacia 1773, la división mecánica de círculos graduados y más tarde, hacia 1790, la construcción del primer teodolito (el nombre es anterior) de precisión.

También se afina la precisión en las medidas de longitud: en 1858 aparece el "palmer" (del nombre de su inventor) con la precisión de 0,01 mm, mientras que a fines del siglo pasado esa precisión había alcanzado el límite de 0,0005 mm, mil veces superior a la que tenían los instrumentos de medida un par de siglos antes.

Ingeniería civil

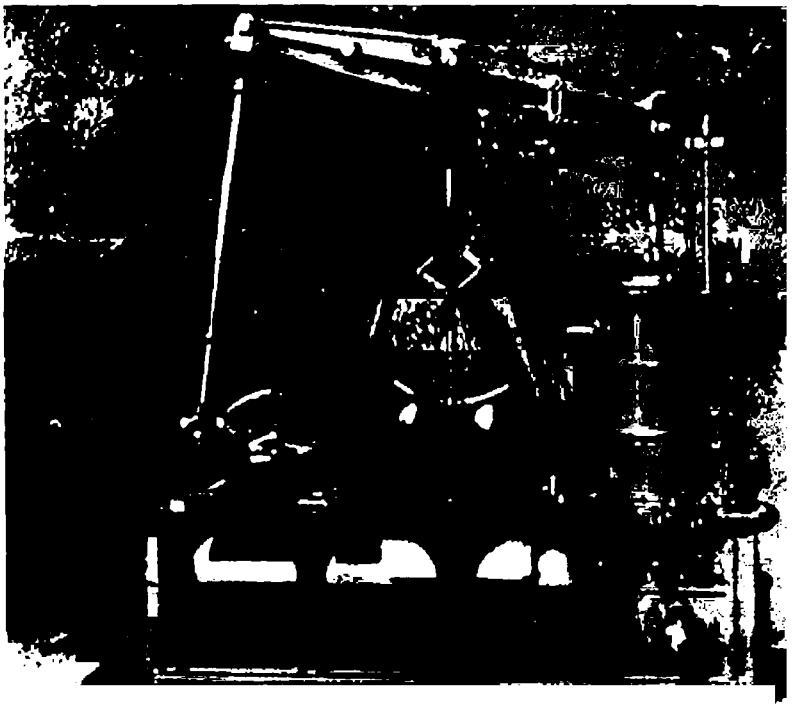
La palabra "ingeniero" es antigua y proviene quizá del latín (*ingenia* = máquinas de guerra) y hasta la Edad media inclusive se la utilizó exclusivamente para los constructores de máquinas de guerra y fortificaciones, comenzando a partir del Renacimiento a extenderse a los topógrafos y constructores de canales. La moderna acepción de "ingeniero civil" nace en Francia donde, a fines del siglo XVII, existen "cuerpos de ingenieros" en los que se distinguen los civiles de los militares y donde a mediados del XVIII se confía su formación a escuelas superiores, en las que ocupa lugar preponderante la preparación científica sobre la base de las aplicaciones de la matemática

a la resistencia de materiales y a la mecánica, como puede advertirse en el tratado *Ciencia de los ingenieros* del francés Belidor, de 1729, especie de precursor de los actuales "Manuales del ingeniero".

En el siglo XVIII la construcción de caminos fue estimulada por el aumento del comercio, la necesidad de un mejor sistema postal y el tráfico creciente y más pesado con llantas de metal, que deterioraban las calzadas. Esa construcción se incrementó primero en Francia y más tarde en Inglaterra, apareciendo tipos racionales de calzada. A fines de siglo en Inglaterra McAdam dejó su nombre vinculado a un tipo de calzada que aún hoy se conserva (macadam) que en 1815 fue reconocido como standard de los caminos ingleses.

En la primera mitad del siglo se utilizan rodillos pesados en la construcción de caminos, mientras se introducen el alquitrán y el asfalto en la composición de las calzadas. La aparición del automóvil obligó a nuevas modificaciones como el rodillo a vapor y la introducción del cemento, nuevo material descubierto en 1824, pero que no se tornó utilizable hasta unos veinte años después. (El cemento armado proviene de una patente francesa de 1867).

Hasta el siglo XVIII los puentes eran de piedra o de madera, pero ahora aparecen los puentes de hierro fundido o forjado y más tarde de acero. El primer puente de hierro es inglés, terminado en 1779, mientras que en el siglo pasado aparecen los puentes colgantes, de los cuales una de las primeras realizaciones importantes es inglesa y entró en uso en 1826, aunque la primera patente es de 1808 y estadounidense; y los puentes con ménsulas o Viga Gerber, del nombre de su inventor, que construyó el primer puente de este tipo en 1867 en Baviera.



Máquina de doble efecto de Watt, patentada en 1782.

En las comunicaciones por agua se regularizaron ríos, se mejoró el dragado, amén de obras de irrigación y de drenaje, y se construyeron canales, campo este último en el cual la iniciativa correspondió a los franceses, que ya en el siglo XVII habían construido el Canal du Midi, de unos 250 km que conectó el Atlántico con el Mediterráneo y que comportó un centenar de esclusas y un túnel de unos 150 m. En el siglo XIX el canal de Bourgogne, de igual longitud, comportó 189 esclusas y un túnel de 3.300 metros.

En Inglaterra la construcción de canales se inicia a mediados del siglo XVIII, más por iniciativa privada que oficial, a fin de abaratar el transporte, en especial desde las regiones carboníferas. El primero de estos canales se construyó en 1761 y unos años después se abrió el Grand Trunk de unos 150 km que une el Mar del norte con el Mar de Irlanda, exigió cinco túneles y resultó la base de toda una red de canales. La construcción de canales ingleses declinó a mediados del siglo pasado, ante la competencia de los ferrocarriles que por lo demás se beneficiaron del trazado de los canales que ya habían escogido las rutas más ventajosas.

En Estados Unidos se construyó, entre 1817 y 1825, el canal Erie que une por agua Buffalo, sobre el lago Erie, con New York utilizado el tramo navegable del río Hudson desde Albany a New York. Es un canal de unos 600 km con 82 esclusas. No obstante la competencia de los ferrocarriles, en Estados Unidos renació a comienzos de este siglo el interés por las vías fluviales, en parte por el entusiasmo del público por el Canal de Panamá que se construyó, después de alternativas iniciales, entre 1904 y 1914. El otro canal, de importancia comercial y estraté-

gica semejantes, es el de Suez que se construyó entre 1859 y 1869.

Los nuevos materiales que proporcionaba la siderurgia y el mejoramiento de las calzadas trajo, en la segunda mitad del siglo XVIII, un progreso en los medios de transporte terrestre; aparecen nuevos tipos de coches privados, y de diligencias y ómnibus para el servicio público, mientras surgen los primeros intentos prácticos para accionar vehículos mediante la expansión del vapor. La primera realización efectiva se debe al francés Cugnot con su "carro a vapor" de 1770, que no prosperó como tampoco otros intentos posteriores en parte también debido a que no era posible aplicar la máquina de Watt pues éste no era partidario de utilizarla en la locomoción terrestre. Caducada la patente de Watt en 1800 se renovaron los intentos y hacia 1830 existían servicios de coches a vapor, pero de escasa eficacia pues eran vehículos pesados que consumían mucho combustible y dañaban las calzadas.

Pero ya entonces se había visto la solución en la combinación del vapor con los rieles, que habían evolucionado al pasar de la madera al hierro y de las pestañas en los rieles a las pestañas en las ruedas, de ahí que a partir de 1813, fecha en que marcha una locomotora sobre rieles, los progresos son rápidos. Aunque convencionalmente se admite como fecha del nacimiento del ferrocarril el año 1825 en que se expendió el primer boleto, es más importante el año 1829 cuando Stephenson con su "Rocket" pone en marcha la primera máquina adaptada al transporte de carga y de pasajeros.

Mientras los ferrocarriles se extendían por todos los continentes, se introdujeron numerosos perfeccionamientos en el sistema de tracción, en la carga transportable, y en la seguridad y comodidad de los pasajeros.

Los vagones de pasajeros que al comienzo no eran sino diligencias sobre rieles, se adaptan al ferrocarril apareciendo en 1858 los coches-cama y más tarde los coches-comedor; también mejoran los vagones de carga construyéndose vagones especiales de acuerdo con la carga y vagones frigoríficos en 1875; en 1869 se introducen los frenos de aire comprimido y mejoran las condiciones de seguridad desde la barrera (1841) hasta la señalización automática (1893).

Hasta disponer de electricidad barata no se procedió a la electrificación de los ferrocarriles, aunque un primer tramo eléctrico se construyó en Irlanda en 1883. Agreguemos que un progreso en el sistema de tracción se logró al introducir los motores Diésel para accionar las locomotoras (Cleveland, 1922).

El transporte urbano también experimentó mejoras en el siglo XIX. Los coches de alquiler datan del siglo XVII y recordemos, como antecedente curioso, que en el año de su muerte el célebre Pascal organizó, con otras personas en París, una empresa de coches "à cinq sols" con horarios y recorridos fijos, empresa que vivió 17 años pero, en verdad, prematura, pues habrá que esperar hasta 1828 para que aparezcan los omnibuses en París. En 1832 aparecen los tranvías a caballo en New York, y después de varios intentos de sustituir la energía animal por energía mecánica se llega al primer ensayo de tranvía eléctrico (Berlín, 1881); tres años después en Estados Unidos con el "trolley" y cable único aéreo, dispositivo que se introduce en Inglaterra en 1890. Los automotores o autobus son de la primera década de este siglo.

Un curioso vehículo asoma a comienzos del siglo XIX: es la "draisina" que su inventor: Drais von Sauerbronn patenta en 1817 y hace conocer en París el año siguiente.

En ese vehiculo, precursor de la actual bicicleta, el ocupante, a horcajadas de un asiento unido a un eje conectado a dos ruedas iguales, lo impulsa apoyando alternativamente los pies en el suelo, mientras lo dirige mediante una especie de manubrio que hace girar la rueda delantera. Modificaciones sucesivas: pedales (1865), llantas rígidas de goma (1869), trasmisión por cadena (1880) y neumáticos (1889) transforman la draisina en una bicicleta. El agregado de unos años antes, de un motor de combustión interna dio lugar, a su vez, a un vehículo precursor de la actual motocicleta.

La aplicación de los motores de combustión interna a los vehículos de tres y cuatro ruedas, dará origen a un vehículo que tendrá un gran futuro, el automóvil, cuyos primeros ejemplares dignos de este nombre circulan por Alemania en la década del 80. Al comienzo, el automóvil mantenía un aspecto exterior que lo asimilaba a un coche sin caballos, aunque ya antes de fin de siglo un industrial francés construyó un automóvil con el motor en el frente.

En Estados Unidos la industria del automóvil está ligada a la figura de Ford, que construye su primer automóvil en 1893, aunque su intervención en el mercado se produce diez años después.

La industria del automóvil hizo progresar la técnica de la producción en masa, así como introdujo la línea de montaje o sistema de cadena transportadora, ya utilizada en la industria frigorífica de Chicago. Así mismo, la industria del automóvil promovió a su vez la invención y construcción de nuevas máquinas-herramienta intensificándo, por lo demás, la tendencia hacia el automatismo.

Con el advenimiento de la electricidad y el empleo de acumuladores, que asoman en el comercio hacia 1881, aparece el automóvil eléctrico que tuvo un efímero auge

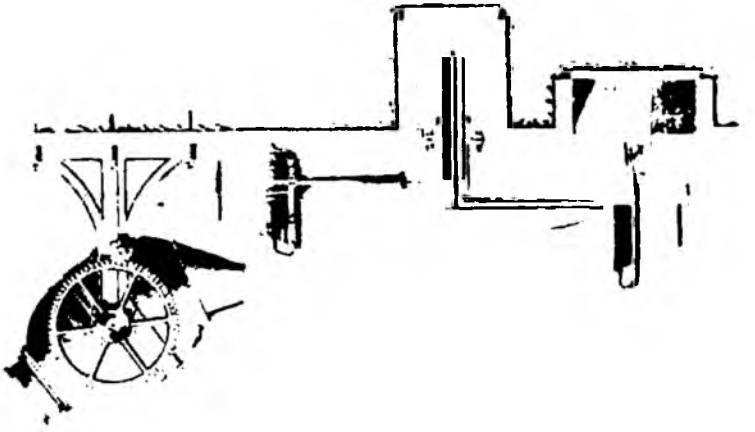


Ilustración de H. Bessemer, con el diagrama del proceso que lleva su nombre

cuando logra un récord de velocidad en 1899, aunque más tarde se hicieron evidentes las ventajas de los automóviles con motor a explosión.

En cuanto a la navegación el siglo XVIII asiste a mejoras en la construcción de los barcos y al perfeccionamiento de las cartas marinas y de los instrumentos náuticos, mientras que en el siglo XIX se producirá la lucha entre el velero y el barco a vapor.

Una primera dificultad que planteó la aplicación de la máquina de vapor a la navegación consistió en la imposibilidad de accionar con ella velas o remos; entre los distintos sistemas proyectados entonces subsistió la impulsión mediante rueda de paletas, que en alguna ocasión se había empleado utilizando energía humana o animal.

Entre los distintos intentos realizados en tal sentido triunfó el estadounidense Fulton, que había estado en Europa, y que después de realizar estudios sistemáticos logra en 1807 que su "Clermont", barco a paletas accionado por una máquina de vapor, recorra unos 250 km del río Hudson en 32 horas. A partir de entonces los progresos fueron rápidos; en 1819 un velero equipado con una máquina de vapor recorre el océano en 29 días, utilizando la máquina de vapor durante 80 horas. En general, se consideraba entonces como imposible la travesía del océano utilizando exclusivamente el vapor, ya que la cantidad de carbón necesario reduciría demasiado la carga útil del barco. Tal creencia se desvirtuó en 1838 cuando un barco a vapor cruzó el Atlántico en quince días.

Ya para entonces aparecen las hélices y en 1844 se bota el primer barco inglés con propulsión a hélice y casco de hierro; tres lustros después se bota otro de los grandes transatlánticos de la época, que en 1866 tenderá el primer cable transatlántico útil.

Estos progresos exigieron perfeccionamientos de puertos y muelles y mayores medidas de seguridad, provocadas por exigentes compañías de seguros marítimos. Más tarde, ya en este siglo, aparecerán los motores Diésel, las turbinas, etcétera.

La idea de la navegación submarina, sobre todo con fines militares, aparece ya en el siglo XVIII con motivo de la guerra entre Inglaterra y sus colonias americanas, y a comienzos del siglo XIX con algunos intentos de Fulton en Francia. Tampoco lograron mayor éxito otros intentos europeos y estadounidenses hasta fines de siglo cuando Holland proyectó para los Estados Unidos distintos submarinos, el primero de los cuales, el "Plunger", era impulsado por vapor en la superficie y por electricidad debajo del agua. El noveno submarino construido por Holland, con un nuevo modelo, fue el primero adquirido por los Estados Unidos en 1900 y con él se inicia la marcha hacia el submarino actual.

El siglo XVIII asiste también a los primeros intentos de navegación aérea. En 1783 aparecen en Francia los primeros aerostatos —con aire caliente, los Montgolfier, y con hidrógeno, de Charlier—, aunque no será hasta mediados del siglo XIX, en 1852, cuando asoma con éxito relativo un dirigible, es decir un aeróstato cuya navegación aérea es dirigida. Este sistema logrará éxito con los zeppelines, del nombre de su inventor que construye su primer dirigible en 1898 y realiza su primer vuelo en 1900. Los dirigibles representan la última etapa de las máquinas voladoras más livianas que el aire, ya que después de la primera guerra mundial no se construyen sino para fines especiales, pues el hombre dispone ahora de una máquina más segura: el aeroplano.

Durante el siglo XIX se proyectaron numerosas máquinas de volar más pesadas que el aire; se realizaron estudios teóricos, se fundaron el aero-modelismo y el vuelo planeado con aparatos sin motor; pero el aeroplano nace a comienzos del siglo XX con el vuelo de 59 segundos de duración a lo largo de un trayecto de unos 250 m que realizaron los hermanos Wright (uno como piloto y el otro en tierra corriendo junto a una ala) a fines de 1903 en Dayton (Estados Unidos). A partir de entonces los progresos fueron rápidos, sobre todo durante la primera guerra mundial que proporcionó técnicos y fábricas en abundancia. En 1919, cuando se cruza por primera vez el Atlántico, se inician los servicios aéreos regulares, en 1923 aparece el autogiro, mientras que el helicóptero se considera un subproducto de la segunda guerra mundial como lo fue el tanque de la primera; así mismo corresponden a los años de este conflicto bélico los primeros ensayos con éxito de los aviones de retropropulsión y del uso del radar en la aviación.

Tecnología química

Bajo el signo de la "revolución industrial" la tecnología química se caracterizará, aunque no de inmediato, por la producción en masa de numerosos productos, algunos conocidos pero en su mayor parte nuevos, y en el consiguiente desarrollo de la gran industria química.

A comienzos del siglo XVIII esa industria estaba limitada a la fabricación de productos ensenciales —sal, salitre, vitriolos, sulfato de cinc, compuestos de mercurio, sal amoníaco, colorantes—, y aunque su gran desarro-

El primer puente de hierro, construido en Coalbrookdale, sobre el Severn, Inglaterra, entre 1776 y 1779

llo será un fruto del siglo XIX, pueden sin embargo advertirse algunos progresos ya en el siglo anterior.

Un buen ejemplo lo ofrece la fabricación del papel, cuya mecanización se inicia en el siglo XVIII apareciendo a fines de ese siglo la primera máquina de papel contínua, aunque no será hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando los procesos mecánicos y químicos permiten convertir la madera en pulpa, que en la industria del papel asoma la producción en masa. Pensemos en este dato estadístico: en 1954 se calculaba que en término medio cada ciudadano estadounidense consumía unos 154 kg de productos de papel por año.

En otros campos de la tecnología química, a la producción en masa se agregaron signos de integración industrial, como en la producción de soda y de los ácidos fuertes: sulfúrico y clorhídrico.

En el proceso que condujo a la actual gran industria de los ácidos y los álcalis, la primera etapa comprende, a mediados del siglo XVIII, el perfeccionamiento en la fabricación de ácido sulfúrico mediante el empleo de las cámaras de plomo, metal inatacable por el ácido; en el siglo siguiente aparecen las torres de Gay-Lussac (1835) y de Glover (1859) que permiten recuperar los productos nitrosos que antes escapaban a la atmósfera, a la cual, por lo demás, infectaban. El ulterior perfeccionamiento se debió a un nuevo método "por contacto o catalítico", que si bien fue patentado en la primera mitad del siglo, su aplicación industrial se logró a fines de siglo, época desde la cual fue desplazando al método de las cámaras de plomo.

La importancia industrial del ácido sulfúrico se inicia con la fabricación de la soda artificial, urgida por las exigencias crecientes de álcalis para las industrias del jabón

del vidrio y textil, agravadas por circunstancias políticas que impedían la importación de soda natural.

La industrialización de la soda se inicia en 1787 según el "proceso Leblanc" —del nombre de su autor, que lo publicó en 1794— proceso que en sus comienzos utilizó el ácido sulfúrico; pero en la segunda mitad del siglo pasado ese proceso fue desplazado por el "proceso Solvay" (también del nombre de su autor) que aparece en 1863 mereciendo perfeccionamientos sucesivos. Además de la soda (carbonato de sodio), otro álcali importante es la soda cáustica (hidrato de sodio) que desde fines del siglo pasado se ha industrializado mediante un proceso electrolítico.

La fabricación industrial de ácido clorhídrico, producto vinculado con el proceso Leblanc, se hizo necesaria cuando a fines del siglo XVIII se reconocieron las propiedades blanqueadoras del cloro, elemento que se había descubierto entonces y que podía obtenerse a partir del ácido clorhídrico, obtención que hacia 1868 se logra por procesos catalíticos.

A partir del siglo XVIII la industrialización prosiguió en otros campos de la química inorgánica: vidrios y cerámica.

Desde fines del siglo XVII mejora la fabricación de cristales y el moldeado de vidrios planos para ventanas y espejos. Más tarde se inicia la producción en masa, en especial en Estados Unidos donde en 1903 aparece el invento revolucionario de la fabricación automática de botellas y, posteriormente, la fabricación de vidrios con fines especiales: de seguridad para autos, resistentes al fuego, etcétera.

Sin duda, los más importantes de tales vidrios son los vidrios ópticos de gran pureza, composición especial y de

índice de refracción prefijado, utilizados en la fabricación de lentes y espejos de los instrumentos científicos. En su composición y fabricación intervinieron científicos y técnicos, afirmándose en ese campo la industria alemana hacia 1884 para pasar luego a los Estados Unidos, donde en una de sus fábricas se vació en 1934 el espejo para el telescopio reflector del observatorio de Monte Palomar (California), de unos cinco metros de diámetro y de unas 20 toneladas de peso.

Una aplicación importante encontraron los vidrios ópticos a comienzos del siglo pasado: las lentes escalonadas para la iluminación de los faros, que inventa el físico Fresnel en 1820 y realiza en 1822.

En lo que respecta a la industria de la cerámica, la creciente demanda de recipientes de uso doméstico, agravada por la escasez de metales, estimuló su desarrollo y la introducción de innovaciones de orden artístico y técnico. Una novedad europea es la aparición de la porcelana, en Alemania, a comienzos del siglo XVIII, pasando luego su fabricación a Francia y otros países.

A fines del siglo XVIII asoma una nueva aplicación de la química al advertirse que en la obtención del coque, y en general en la destilación de la madera o de la hulla, se desprenden gases inflamables, propiedad que podía utilizarse para lograr un producto fuente de luz y calor. Así nació el gas de alumbrado, cuyas primeras exhibiciones públicas se hicieron en 1802, en Francia y en Inglaterra; la primera empresa industrial para explotar el nuevo producto (1812) es inglesa.

Durante el siglo XIX la industria del gas de alumbrado experimentó diversas mejoras como purificación y refinación del producto, supresión del mal olor, introducción de

medidas de seguridad y, en especial, modificaciones de los quemadores, hasta llegar a la mecha incandescente, de manera que a fines de siglo el gas de alumbrado pudo aprovecharse con eficiencia extendiéndose su uso a la cocina y en los motores de gas.

Otro producto de la destilación de la hulla, de gran porvenir, fue el alquitrán, que empieza a producirse en pequeñas cantidades hacia 1830; actualmente se conocen varios miles de compuestos derivados del alquitrán, entre ellos figuran los que darán lugar a una gran industria, la de los colorantes artificiales, que nace en los laboratorios de química, en 1856, en especial por obra del químico inglés Perkin, quien el año siguiente abandona la investigación para dedicarse a la industrialización del colorante sintético obtenido en el laboratorio. La gran industria de los colorantes pasa a Francia y de ahí a Alemania, donde alcanza un desarrollo que deja atrás a todos los demás países, hasta la primera guerra mundial en que esa supremacía sufrió un eclipse.

Otra futura gran industria que nace en los laboratorios es la de los explosivos modernos; en 1846 nace el "algodón pólvora" (nitrocelulosa), el año siguiente la nitroglicerina, producto que, mezclado con una materia inerte —tierra de infusorios— da lugar a la dinamita que Nobel inventa en 1866; a este invento sigue en 1876 la gelatina explosiva y en 1889 una pólvora sin humo... Mencionamos que la gran empresa Du Pont de los Estados Unidos se inició con una fábrica de pólvora negra en 1802.

Con la nitrocelulosa se vincula un producto, el celuloide, patentado en 1870 y destinado a la fabricación de bolas de billar, con el cual nace la industria hoy floreciente de los plásticos. Pero el primer plástico sintético es de este siglo, la bakelita —inventada en 1906 por el belga

Baekeland, a la sazón profesor en Estados Unidos—, que abre la muy numerosa y variada gama de plásticos actuales. En 1923 aparecen los plásticos derivados de la úrea, en 1935 los que se obtienen partiendo del gas natural o de los productos del craqueo del petróleo, etcétera.

Otra importante industria química actual es la del caucho, utilizado como producto natural desde tiempos inmemorables y que adquiere importancia comercial con su "vulcanización" que logra principalmente Goodyear en 1839 (la patente es de 1844), y gran difusión cuando Dunlop en 1889 inventa los neumáticos; finalmente en 1931 se lanza a la venta el primer caucho sintético.

Nos falta aún mencionar los orígenes de la actual petroquímica, que han de verse a mediados del siglo pasado, ya en los trabajos de laboratorio de destilación fraccionada del aceite en 1855, ya a raiz del éxito logrado en 1859 en Pennsylvania al surgir petróleo de una perforación; y si bien en el siglo pasado la industria se redujo a la explotación del petróleo crudo y de algunos de sus derivados, en este siglo los productos del craqueo y el gas natural permitieron la producción de un gran número de compuestos que proporcionaron materiales para la obtención de caucho sintético, plásticos, textiles, detergentes y productos para la agricultura.

La industrialización de la energía atómica es posterior a la segunda guerra mundial; la primera usina atómica en escala comercial es inglesa y de 1956, aunque no totalmente destinada a fines pacíficos pues se proyectó en primer lugar para producir plutonio destinado a las bombas atómicas. Cabe agregar que los radioisótopos representan otro resultado de la física nuclear que ha encontrado aplicación en la industria.

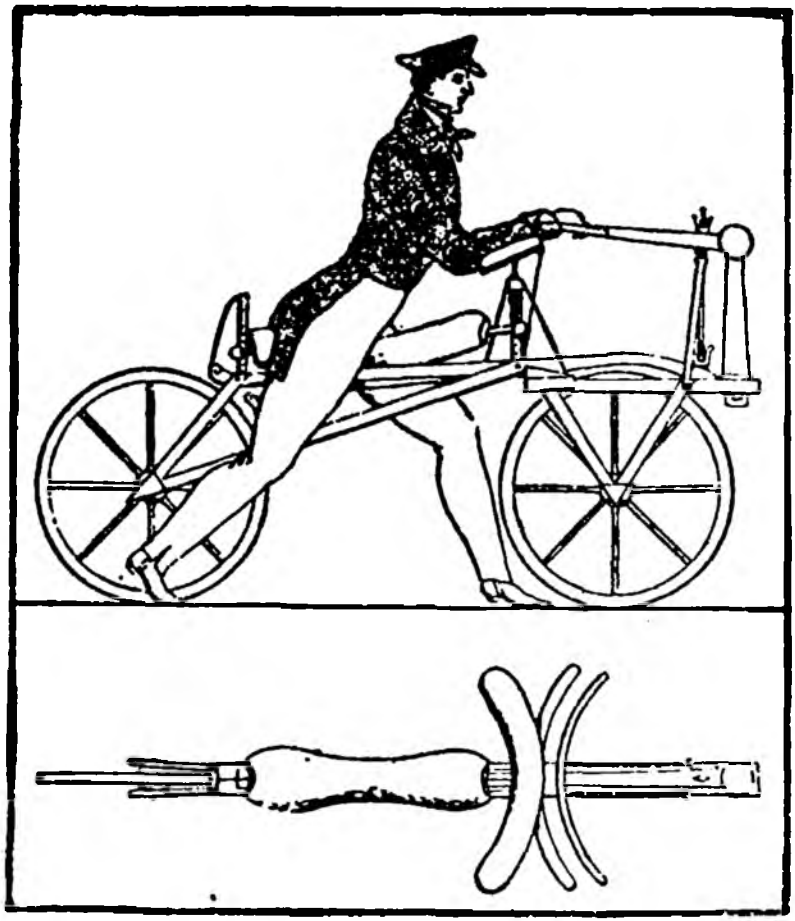
La electricidad

Con las aplicaciones de la electricidad, que surgen en la segunda mitad del siglo XIX, puede decirse que termina el reinado de la máquina de vapor y el ciclo inicial de la "revolución industrial" que esta máquina había caracterizado.

Con la electricidad también aparece claramente una nota de la tecnología de hoy: su consecuencia directa de las investigaciones teóricas, cuando no en simbiosis con ellas.

Así, la conversión de energía eléctrica en mecánica e inversamente, está implícita en la inducción electromagnética que Faraday descubre en 1831, aunque las dificultades que planteó su realización práctica no se resolvieron hasta unos cuarenta años después cuando aparecen los primeros dínamos y los primeros motores eléctricos dignos de estos nombres.

Así mismo, podría fijarse en el año 1879 el nacimiento de la industria eléctrica, cuando una empresa francesa utiliza un motor eléctrico para accionar una grúa de conjillones, y fijarse el nacimiento de las grandes compañías eléctricas de hoy en 1882, año en el cual Edison instala en pleno corazón comercial de New York la primera central eléctrica con el fin de proporcionar la corriente necesaria para alimentar las primeras 800 unidades de la lámpara eléctrica que acababa de inventar (1879). Es interesante señalar que la investigación emprendida por Edison con ese objeto tuvo todos los caracteres de una investigación tecnológica actual: trabajo en equipo en un laboratorio adecuado con científicos especializados, experimentación sistemática para dar con el mejor filamento, clara finalidad de su posible explotación comercial.



Dibujo de la "Draisina" tal como fue incluido en su solicitud de patente, de 1817

Durante el siglo pasado se señalaron otras aplicaciones de la electricidad como, por ejemplo a las soldaduras, a la metalurgia, a la calefacción (los hornos eléctricos aparecen hacia 1870), y a la refrigeración, mientras se resuelve el problema de la transmisión a grandes distancias y nacen las corrientes de alta frecuencia.

En cambio, en este siglo se asiste a la invasión de la electrónica: el microscopio electrónico es de 1932, y las actuales computadoras electrónicas, de múltiples usos, comienzan su carrera con la aplicación de las válvulas en 1946 y de los transistores en 1950.

Otras aplicaciones encontrará la electricidad en el siglo pasado y en éste como medio de transmisión de la palabra, del sonido y de la imagen.

Hasta la aparición de la energía nuclear en este siglo, la electricidad integró, con el vapor y el agua, las fuentes de energía que se utilizaron desde fines del siglo pasado con la evidente ventaja sobre las demás de transmitirse a distancia, proporcionar luz y calor, y provocar fenómenos químicos. Cabe aún agregar que para una mejor y mayor producción y conducción de energía, se introdujeron desde el siglo pasado varios perfeccionamientos en los medios de transmisión: correas, poleas, articulaciones y engranajes, cojinetes a bolillas, etcétera.

Imagen y sonido

La transmisión artificial de imágenes y sonidos es otra de las notas que caracterizan la técnica de hoy. En este sentido la serie de inventos e innovaciones comienza con la fotografía, cuya fecha oficial de nacimiento es 1839,

cuando el gobierno francés dona el invento a la humanidad, y cuyos perfeccionamiento ulteriores, en el material y en el proceso, ya en blanco y negro como en colores, le confirió gran popularidad, mientras se convertía en un auxiliar inapreciable tanto en la ciencia como en el arte.

Le sigue en orden cronológico la telegrafía, es decir, la transmisión de signos a distancia que cuenta con un sistema precursor del siglo XVIII: el telégrafo óptico, en el cual se transmitían señales, de estación en estación, que se veían mediante anteojos y cuya realización más importante tuvo lugar en Francia durante la Revolución, instalándose la primera línea telegráfica en 1794 entre París y Lille (225 km) con 22 estaciones intermedias. Aunque el sistema se extendió en Francia y en otros países, fue eliminado por la telegrafía eléctrica que se inicia en 1844 con el primer mensaje telegráfico que Morse remite entre Washington y Baltimore. Un primer perfeccionamiento es el telégrafo impresor de 1855 y una primera aplicación importante el tendido del primer cable transatlántico en 1866.

La invención del teléfono, que exigió la transmisión de sonidos articulados, no de meros signos, fue algo posterior. Se debe al escocés Bell, residente en Estados Unidos como profesor de sordomudos, que lo patenta en 1876, año en que logra transmitir una frase completa a 3 km de distancia (Boston-Cambridge). Entre los perfeccionamientos experimentados durante el siglo pasado cabe citar el micrófono en 1878 y el sistema automático, sin operadora intermedia, en 1892.

En las mejoras del teléfono intervino Edison, quien en 1877 inventa el micrófono a carbón, y en conexión con ese tema a fines de ese año patenta el fonógrafo, considerado su invento más original.

El siglo XIX asiste a la mecanización de la tipografía; la linotipo es de 1885 y la monotipo de 1887; y del arte de imprimir, inaugurando *"The Times"* de Londres en 1814 la primera máquina impresora, precursora de las actuales rotativas. El progreso realizado en este campo puede apreciarse por las siguientes cifras: en 1814 *"The Times"* se jactaba de imprimir 1.100 páginas por hora, a comienzos de este siglo esa cifra se elevaba a un millón y a mediados del siglo a cinco veces más. Otros perfeccionamientos, como la impresión por "offset" y el rotograbado, son de comienzos de este siglo.

Con el arte de imprimir se vinculan las máquinas de escribir, de las cuales puede decirse que, aún diferentes de las actuales, inician su marcha en 1867 de acuerdo a una patente de ese año, apareciendo en el mercado unos años después. También en esta época aparecen máquinas sumadoras, de concepción antigua, y las registradoras en los mostradores de los negocios. En 1887 se inventó una máquina de calcular que multiplicaba directamente, sin hacerlo mediante sumas repetidas como las sumadoras comunes, aunque tal ingenioso invento quedó contrarrestado cuando se aplicó la electricidad a las sumadoras.

Tales máquinas empero resultaban insuficientes en la compilación de datos estadísticos, cada vez más numerosos y complicados, de ahí la importancia del invento de la máquina para tabular datos mediante tarjetas perforadas que patenta el estadounidense Hollerith en 1889. Sucesivos perfeccionamientos convirtieron esa máquina en una cabal computadora mecánica, que en el decenio de 1940 se convierte en electrónica.

Otro proceso técnico del siglo pasado, que cobró gran impulso y popularidad en éste, es la cinematografía, resultado de los intentos de combinar la fotografía con el

movimiento. En 1892 se logran los primeros resultados con dibujos animados, que poco después ceden ante el éxito del cine de fotografía viva al nacer el primer "cinematógrafo" (la palabra es algo anterior) en París en 1895, instalado por los hermanos Lumière, fotógrafos franceses. En cambio son de este siglo, en 1927, las primeras manifestaciones del cine sonoro.

En los medios de transmisión de sonidos e imágenes provocará, una verdadera revolución las ondas hertzianas u ondas de la radio, que se descubren en 1888 pero, cuya existencia había predicho el físico Maxwell en 1873.

La primera aplicación que encontraron esas ondas fue en la telegrafía cuando Marconi logra una transmisión inalámbrica entre Francia e Inglaterra en 1899 y, un par de años después, la primera transatlántica. En cambio, para la telefonía —nuestra radio— fue necesario acudir a la electrónica, quedando establecida regularmente la radiotelefonía después de la primera guerra mundial gracias a los inventos de las válvulas termiónicas: el diodo de Fleming de 1904 y el triodo de De Forest de 1906. En cuanto a la televisión, de la cual debe considerarse un precursor el alemán von Nipkow por sus investigaciones de 1884, las primeras transmisiones experimentales —hacia 1925— fueron inglesas, librándose al público en 1936, mientras que la televisión en colores se autoriza en Estados Unidos en 1954.

Otras aplicaciones de las ondas de la radio en este siglo son el radar —que permite detectar y localizar objetos y cuyo desarrollo y difusión se inicia en 1943—, y los radiotelescopios, instrumentos que denuncian radiaciones de origen extraterrestre cuyo estudio pertenece a la radioastronomía, nueva rama de la astronomía surgida después de la segunda guerra mundial.

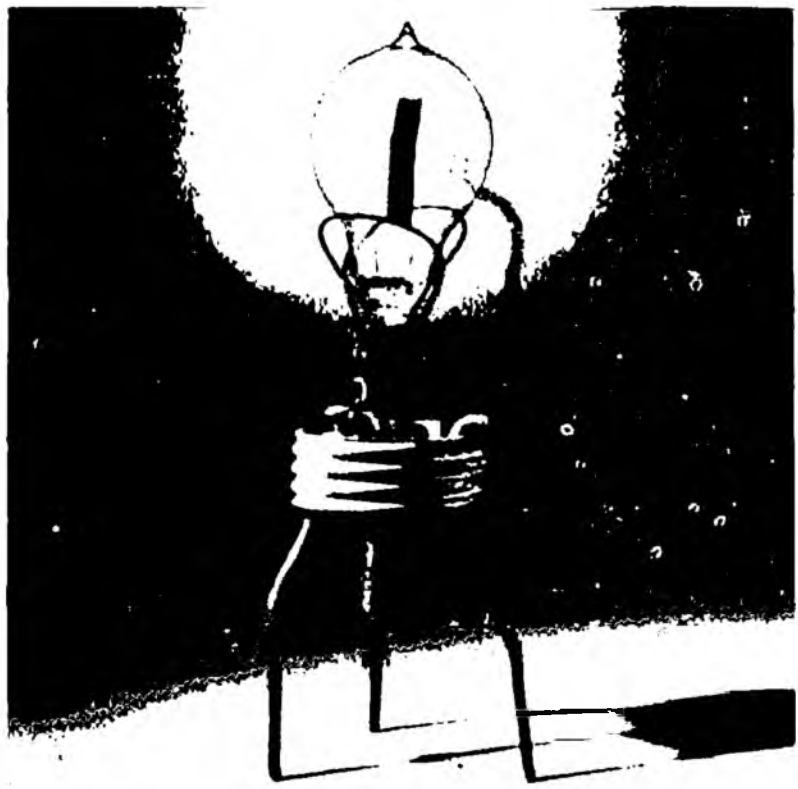
Ciudad y hogar

Si es cierto que toda revolución industrial fue acompañada por una revolución agrícola, no es menos cierto que uno de sus frutos maduros es la urbanización, la formación de ciudades. La revolución neolítica trajo como consecuencia la formación de las primeras aglomeraciones humanas; la revolución medieval culminó en las ciudades renacentistas, y un saldo de la revolución industrial que se inicia en el siglo XVIII es la ciudad moderna, esa ciudad afectada de gigantismo y de otros males provocados por una tecnología dispensada sin control: contaminación del ambiente, ruidos molestos, congestión del tráfico, superabundancia de materiales de desecho, etcétera.

Por supuesto que la tecnología fue también el factor que conformó la vida urbana dotándola de sus comodidades y ventajas, que no es necesario detallar, en virtud de la disponibilidad, en cantidad y variedad, de materiales de construcción y de energía que proporcionó la nueva industria.

La abundancia de hierro, acero y vidrio revolucionó la construcción urbana; símbolos de las nuevas posibilidades en el siglo pasado serán el Crystal Palace de Londres, de hierro y de cristal, construido entre 1851 y 1854; y la ya clásica Torre Eiffel de París de 300 m de altura, toda de hierro, construida con motivo de la Exposición Universal de 1889.

En la ciudad moderna la construcción se estandardiza: en Estados Unidos, donde abundaba la madera y escaseaba la mano de obra, se inventa en 1833 una estructura liviana toda de madera, sobre la base de vigas de escuadría fija y de longitud a medida, de madera que una persona hábil con martillo, escalera y clavos, podía cons-



Primera válvula electrónica construida por Fleming en 1904

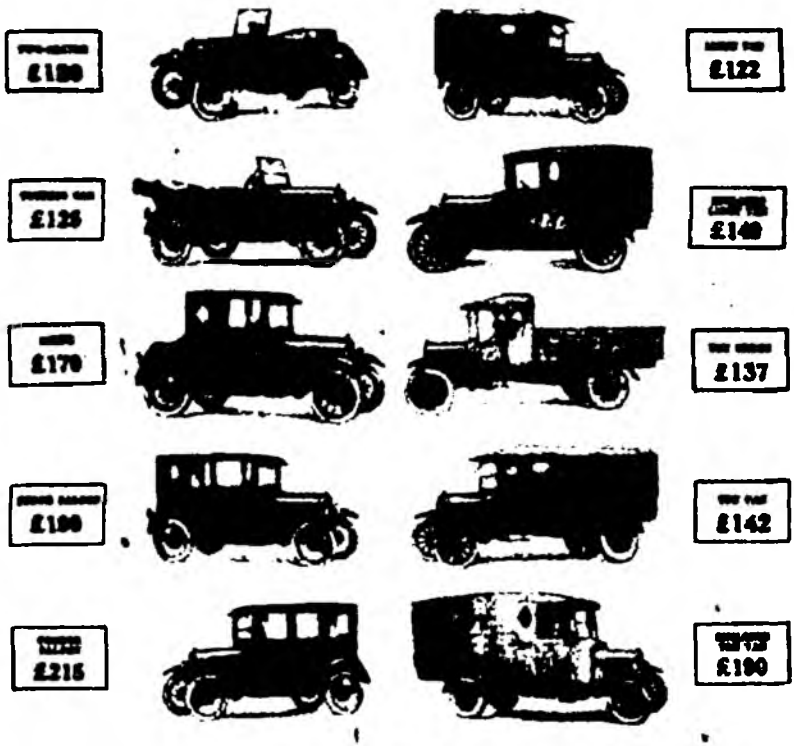
truirse su vivienda. Sin ese tipo de construcción, se afirmaba en 1855, ciudades como San Francisco o Chicago, no habrían evolucionado tan rápidamente.

A mediados de siglo aparecen las construcciones de varios pisos, sostenidos por "esqueletos metálicos" formados por columnas y vigas de hierro que, a fines de siglo, se sustituirán por el hormigón. Esas construcciones exigirán montacargas y ascensores. Los montacargas hidráulicos, dotados de medios de seguridad, son de 1854, el primer ascensor eléctrico eficiente es de 1889.

Tampoco cabe detallar la contribución de la tecnología a la higiene y al confort domésticos, que ha permitido en este siglo electrificar, más que mecanizar, el hogar, al introducir dispositivos especiales de refrigeración, calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire, etcétera. Una contribución especial se debió a la industria del frío, nacida en los laboratorios, que en 1873 construye un refrigerador con compresor de amoníaco, y en 1877 equipa un barco frigorífico que realiza con éxito un viaje transatlántico con carne congelada. Por otra parte, una exuberante industria de drogas sintéticas, de jabones y detergentes, de procesos de conservación de alimentos en envases con cierre hermético, de nuevos alimentos como margarina, extracto de carne, leche condensada, alimentos deshidratados, etcétera, ha proporcionado para gran parte de los habitantes de las ciudades una vida higiénica y confortable en medida inimaginada o inimaginable en los tiempos pasados.

The Model T in its Final Stage

AUGUST, 1927



Afiche publicitario que representa la etapa final del auto Ford, cuya producción en masa comenzó en 1923. Hasta 1928 se vendieron 15 millones de unidades

Cronología de los inventos mencionados en el texto

Antes del 6000 a.C.	Conservación y uso del fuego. - Útiles de piedra. - Arcos y flechas. - Propulsor. - Trampas. - Técnica de los colores y del modelado con arcilla.
Milenios VI y V a.C	Azada; hoz. - Domesticación. - Uso de la energía animal. - Alfarería. - Huso y telar.
IV milenio a.C.	Metalurgia del cobre y del bronce; fuelles. - Carro con ruedas. - Torno de alfarero. - Vela de los barcos; uso del viento. - El arado. - El ladrillo - El vidrio. - La escritura.
III milenio a.C.	El vidrio. - El método de la "cera perdida". La rueda de canjilones.
II milenio a.C.	Metalurgia del hierro.
Siglo IX a.C.	La moneda.
Siglo VI a.C.	*La polea.*
Siglo III a.C.	Tornillo de Arquímedes.
Siglo I a.C.	Rueda hidráulica. - Uso de la energía del agua. Soplado del vidrio.
Siglo I	Papel (China).
Siglo X	Arnés del caballo; collera; herraduras; arnés de silla.
Siglo XI	Mayal articulado.

Siglo XII	Molinos de viento. - Vela latina. - Brújula magnética. - Las ruedas hidráulicas y los molinos de viento proporcionan energía mecánica. - Industria de la seda en Occidente. - Alcohol y ácidos fuertes.
Siglo XIII	Rueda de hilar. - El timón. - Las esclusas. - Máquina elevadora de fardos pesados. - La carretilla. - La pólvora. - Los anteojos para leer.
Siglo XIV	El torno. - Máquinas para trefilar alambres. - Relojes mecánicos. - Cañones.
Siglo XV	Hierro fundido. - Mecanismo biela-manivela. - La imprenta.
Siglo XVI	Vagonetas con rieles en las minas. - Telar y tundidora mecánicos.
1657	Reloj de péndulo de Huygens.
1663	Máquina de Worcester.
1673	Máquina de Huygens-Papin.
1675	Reloj con espiral reguladora de Huygens.
1680	Marmita de Papin.
1698	Máquina de Savery.
1708	Moldes de arena para la fundición.
1709	Coque metalúrgico. - Porcelana europea.
1712	Máquina de Newcomen.
1733	Lanzadera volante.
1738	Mecanización del hilado.
1740	Acero al crisol.
1765	Cronómetro marino.
1769	Condensador de Watt.
1770	Carro a vapor.

1779 Primer puente de hierro.
1781 Máquina rotativa de Watt.
1782 Máquina de doble efecto e indicador de Watt.
1783 El pudelado. - Aeróstatos.
1784 Paralelogramo articulado de Watt.
1787 Regulador de Watt. - Mecanización del tejido.
1790 Teodolito de precisión.
1793 Desmotadora de algodón.
1794 Torno perfeccionado. - Soda Leblanc. - Telégrafo óptico.
1802 Gas de alumbrado.
1804 Máquinas de doble expansión.
1805 El hierro galvanizado. - Telar Jacquard.
1807 Barco a vapor.
1814 Máquina rotativa para imprimir.
1816 Lámpara de seguridad de Davy.
1817 La "draisina".
1824 Cemento Portland.
1825 Telar automático.
1826 Mecanización de la agricultura.
1827 Turbinas hidráulicas.
1829 Ferrocarril de Stephenson. - Calderas multitubulares. - Uso del aire precalentado.
1832 Estampado mecánico.
1835 Revólver Colt.
1836 Fusil a cerrojo.
1839 Fotografía. - Vulcanización del caucho.
1844 Telégrafo eléctrico. - Barcos a hélice.
1846 Máquina de coser.
1852 Mecanización de la minería.

1854 Montacargas hidráulico.
1855 Telégrafo impresor.
1856 Convertidor Bessemer. - Colorantes sintéticos.
1859 El petróleo.
1860 La hulla blanca.
1863 Soda Solvay.
c. 1865 Dínamo y motor eléctrico.
1866 La dinamita.
1867 Motores de combustión interna. - Hormigón. - Máquina de escribir.
1870 Celuloide. - Hornos eléctricos.
1873 Refrigeración con amoníaco.
1876 Teléfono.
1877 Fonógrafo. - Barco frigorífico.
1878 Micrófono.
1879 Lámpara eléctrica.
1880 Máquinas de triple expansión.
1881 Acumuladores.
1882 Turbinas De Laval. - La primera central eléctrica.
1883 Ametralladora Maxim.
1884 Turbinas Parsons. - Seda artificial. - Transmisión de imágenes por ondas.
1885 Automóvil. - Linotipo. - Tubos Mannesmann.
1887 Máquina de multiplicar. - Monotipo.
1889 Tabulación con tarjetas perforadas. - Ascensor eléctrico. - Los neumáticos.
1892 Teléfono automático. - Cine de dibujos animados.
1893 Motores Diesel. - Señalización automática en los ferrocarriles.

1895 El cinematógrafo.
1898 El dirigible.
1899 Radiotelegrafía.
1900 El submarino.
1903 El aeroplano. - Fábrica automática de botellas.
1904 El diodo.
1906 El triodo. - La bakelita.
1911 El rayón.
1914 El tractor.
1923 El autogiro.
1925 La televisión (experimental).
1927 Cine sonoro.
1930 Turbinas de gas.
1931 Caucho sintético.
1932 Microscopio electrónico.
1938 El nylón.
1943 El radar.
1946 Computadora electrónica.
1954 Televisión en colores.
1956 Primera usina atómica.

Índice

Homo faber	7
El saber técnico	8
La técnica y su historia	12
Las revoluciones industriales	13
La revolución neolítica	15
La revolución urbana	21
El período clásico	24
Técnica y ciencia	27
La revolución medieval	31
El arnés del caballo	33
Agricultura y minería	35
Las fuentes de energía	38
Transportes y comunicaciones	40
Industrias textil y metalúrgica	43
La tecnología química	45
Las catedrales medievales	47
La imprenta con tipos móviles	49
La era de los proyectos	52
El "caso" Leonardo	58
La revolución científica	63
La "revolución industrial"	67

La máquina de vapor 72
Agua y viento 76
Agricultura y mineria 77
Metalurgia y textiles 80
Tecnología mecánica 85
Ingeniería civil 88
Tecnología química 98
La electricidad 105
Imagen y sonido 107
Ciudad y hogar 111
Cronología de los inventos mencionados en el texto 117

Se terminó de imprimir
el día 15 de febrero de 1972
en los Talleres Gráficos de
Sebastián de Amorrortu e Hijos,
Luca 2223, Buenos Aires